21-я Международная конференция «Авиация и космонавтика»

21th International Conference “Aviation and Cosmonautics”

Тезисы

Abstracts

AEROSPACE SCIENCE WEEK

Москва, МАИ

Moscow, MAI

2022

21-я Международная конференция «Авиация и космонавтика»

21st International Conference “Aviation and Cosmonautics” (AviaSpace-2022)

Тезисы

Abstracts

Москва, МАИ
21-25 ноября 2022 г.

Moscow, MAI
21-25 November 2022

УДК 629.7
ББК 39.52:39.6я43
С23

21-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 21-25 ноября 2022 года. Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2022– 8,06 Мб [Электронное издание].

21st International Conference “Aviation and Cosmonautics” (AviaSpace-2022). 21-25 November 2022. Moscow. Abstracts. – Publishing house “Pero”, 2022. – 8,06 MB. [Electronic edition].

ISBN 978-5-00204-819-9

В сборник включены доклады, представленные в Организационный комитет конференции в электронном виде.

Конференция проводится в рамках реализации Программы создания и развития научного центра мирового уровня «Сверхзвук» на 2020-2025 годы при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение от 20 апреля 2022 г. № 075-15-2022-309).

Abstracts, which were sent to Organizing Committee in electronic form, are included in the digest.

The conference is held in the implementation of the program for the creation and development of the World-Class Research Center “Supersonic” for 2020-2025 funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

ISBN 978-5-00204-819-9
© Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2022
© Moscow Aviation Institute (National Research University), 2022

Организатор

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)

Организационный комитет

Шемяков А.О., проректор по стратегическому развитию — председатель
Алифанов О.М., заведующий кафедрой «Космические системы и ракетостроение» МАИ — руководитель направления «Ракетные и космические системы»
Беспалов А.В., директор дирекции института № 11 «Материаловедения и технологий материалов» МАИ — руководитель направления «Новые материалы и производственные технологии в области авиационной и ракетно-космической техники»
Булакина М.Б., директор IT-центра МАИ
Ефремов А.В., заведующий кафедрой «Динамика и управление полётом пилотируемых ЛА» МАИ — руководитель направления «Авиационные системы»
Замковой А.А., начальник управления научных программ и проектов МАИ
Кирдяшкин В.В., директор дирекции института № 4 «Радиоэлектроника, инфокоммуникации и информационная безопасность» МАИ — руководитель направления «Информационно-телекоммуникационные технологии авиационных, ракетных и космических систем»
Кривилёв А.В., директор дирекции института № 7 «Робототехнические и интеллектуальные системы» МАИ — руководитель направления «Робототехника, интеллектуальные системы и авиационное вооружение»
Крылов С.С., директор дирекции института № 8 «Информационные технологии и прикладная математика» МАИ — руководитель направления «Математические методы в аэрокосмической науке и технике»
Монахова В.П., директор дирекции института № 2 «Авиационные, ракетные двигатели и энергетические установки» МАИ — руководитель направления «Авиационные, ракетные двигатели и энергетические установки»
Новиков С.В., директор дирекции института № 5 «Инженерная экономика и гуманитарные науки» МАИ — руководитель направления «Экономика и менеджмент предприятий аэрокосмического комплекса»
Следков Ю.Г., директор дирекции института № 3 «Системы управления, информатика и электроэнергетика» МАИ — руководитель направления «Системы управления, информатика и электроэнергетика»
Mangey Ram, Research Professor, Graphic Era Deemed to be University
Adarsh Anand, Assistant Professor, University of Delhi

Программный комитет

Равикович Ю.А., и.о. проректора по научной работе — председатель
Алифанов О.М., заведующий кафедрой «Космические системы и ракетостроение» МАИ — руководитель направления «Ракетные и космические системы»
Веремеенко К.К., начальник научно-исследовательского отделения института № 3 «Системы управления, информатика и электроэнергетика» МАИ
Галкин Е.В., доцент кафедры «Технологии и системы автоматизированного проектирования» МАИ
Долгов О.С., директор дирекции института № 1 «Авиационная техника» МАИ
Заговорчев В.А., начальник научно-исследовательского отделения института № 6 «Аэрокосмический» МАИ
Зубанова С.Г., профессор кафедры И-11 «Иностранный язык для аэрокосмических специальностей» МАИ
Ионов А.В., заместитель директора института № 2 «Авиационные, ракетные двигатели и энергетические установки» МАИ
Кирдяшкин В.В., директор дирекции института № 4 «Радиоэлектроника, инфокоммуникации и информационная безопасность» МАИ
Кривилёв А.В., директор дирекции института № 7 «Робототехнические и интеллектуальные системы» МАИ
Крылов С.С., директор дирекции института № 8 «Информационные технологии и прикладная математика» МАИ
Медведский А.Л., первый заместитель генерального директора ФГУП «ЦАГИ»
Назаров Е.В., начальник лаборатории №2 НИО-101 МАИ
Силуянова М.В., профессор кафедры «Технология производства и эксплуатации двигателей летательных аппаратов» МАИ
Стрелец М.Ю., начальник НИ0-101 МАИ
Терентьев В.В., начальник научно-организационного управления МАИ
Тихонов Г.В., начальник научно-исследовательского отделения института № 5 «Инженерная экономика и гуманитарные науки»
Шкурин М.В., старший преподаватель кафедры «Проектирование и сертификация авиационной техники» МАИ
Mangey Ram, Research Professor, Graphic Era Deemed to be University
Adarsh Anand, Assistant Professor, University of Delhi

Organizer

Moscow Aviation Institute (National Research University)

Organizing Committee

Aleksander Shemiakov, Chairman of the Organizing Committee, Vice-rector for strategy development, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Andrey Zamkovoy, Head of the MAI Scientific Programs and Projects Department, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Aleksandr Efremov, Head of the MAI department 106 “Dynamics and Flight Control of Manned Aircraft”, Head of direction “Aviation Systems”, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Veronika Monakhova, Director of the MAI Institute No. 2 “Power Installations of Aviation, Rocket and Space Systems”, Head of direction “Power Installations of Aviation, Rocket and Space Systems”, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Yury Sledkov, Director of the MAI Institute No. 3 “Control Systems, Informatics and Power Generation”, Head of direction “Control Measuring and Computing Systems and Complexes and Onboard Power Generation”, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Vladimir Kirdyashkin, Director of the MAI Institute No. 4 “Radioelectronics, Infocommunications and Information Security”, Head of direction “Information and Telecommunication Technologies of Aviation, Rocket and Space Systems”, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Oleg Alifanov, Head of the MAI department 601 “Space Systems and Rocket Engineering”), Head of direction “Rocket and Space Systems”, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Aleksander Krivilev, Director of the MAI Institute No. 7 “Robotics and Intelligent Systems”), Head of direction “Robotics, Intelligent Systems and Aircraft Armament”, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Sergey Krylov, Director of the MAI Institute No. 8 “Information Technology and Applied Mathematics”), Head of direction “Mathematical Methods in Aerospace Science and Technology”, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Alexander Bespalov, Director of the MAI Institute No. 11 “Material Science and Technology”, Head of direction “New Materials and Production Technologies in the Areas of Aviation, Rocket and Space Technique”, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Sergey Novikov, Director of the MAI Institute No. 5 “Business Engineering and Humanities”, Head of direction “Economics and Management at Enterprises of Aerospace Complexes”, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Maria Bulakina, Head of MAI IT-center, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia Anna Yakovleva, Head of the projects at MAI Space Programs Direction, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia

Mangey Ram, Co-chairman of the Organizing Committee, Research Professor, Graphic Era Deemed to be University, Dehradun, India
Adarsh Anand, Co-chairman of the Organizing Committee Assistant Professor, University of Delhi, Delhi, India

Program Committee

Yury Ravikovich, Chairman of the Program Committee, Vice-rector for scientific affairs, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Aleksandr Medvedsky, Deputy Head of Central Aerohydrodynamic Institute, Zhukovsky, Russia
Vadim Terentyev, Head of the MAI Scientific and Organizational Department, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Oleg Dolgov, Director of the MAI Institute No. 1 "Aircraft Engineering", Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Evgeny Galkin, Associate Professor of the MAI Department "Technologies and Systems of Automated Engineering"
Aleksey Ionov, Deputy Director of the MAI Institute No. 2 "Aviation, Rocket Engines and Power Installation", Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Konstantin Veremeenko, Head of the Research Department of the MAI Institute No. 3 "Control Measuring and Computing Systems and Complexes and Onboard Power Generation", Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Vladimir Kirdyashkin, Director of the MAI Institute No. 4 "Radioelectronics, Infocommunications and Information Security", Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Aleksander Krivilev, Director of the MAI Institute No. 7 "Robotics and Intelligent Systems"), Head of direction "Robotics, Intelligent Systems and Aircraft Armament", Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Vladimir Zagovorchev, Head of the Research Department of the MAI Institute No. 6 "Aerospace Engineering", Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Alexey Kirillov, Head of the Research Department of the MAI Institute No. 7 "Robotic and Intelligent Systems", Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Sergey Krylov, Director of the MAI Institute No. 8 "Information Technologies and Applied Mathematics", Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Marina Siluyanova, Professor of the MAI Department "Production Technology and Exploitation of Aircraft Engines", Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Gennady Tikhonov, Head of the Research Department of the MAI Institute No. 5 "Business Engineering and Humanities", Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Svetlana Zubanova, Professor of the MAI Department I-11 "Foreign Language for Aerospace Specialties", Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Dmitry Strelets, Head of the MAI Research Department 101, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Maksim Shkurin, senior lecturer of the MAI Department "Engineernig and Certification of Aviation Equipment"
Egor Nazarov, Head of the Lab 2 of the MAI Research Department 101, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia

Mangey Ram, Co-chairman of the Organizing Committee, Research Professor, Graphic Era Deemed to be University, Dehradun, India
Adarsh Anand, Co-chairman of the Organizing Committee Assistant Professor, University of Delhi, Delhi, India

Оглавление

1. АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ 11

2. АВИАЦИОННЫЕ, РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ..... 85

3. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ИНФОРМАТИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА..... 191

4. ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВИАЦИОННЫХ, РАКЕТНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ..... 285

5. РАКЕТНЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ..... 317

6. РОБОТОТЕХНИКА, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И АВИАЦИОННОЕ ВООРУЖЕНИЕ..... 362

7. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ..... 379

8. НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ..... 444

9. ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ ПРЕДПРИЯТИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА..... 499

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ..... 607

CONTENT

1. AVIATION SYSTEMS 11

2. AVIATION AND ROCKET ENGINES AND POWER INSTALLATIONS 85

3. CONTROL SYSTEMS, INFORMATICS AND POWER ENGINEERING 191

4. INFORMATION AND TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY OF AVIATION, ROCKET AND SPACE SYSTEMS 285

5. ROCKET AND SPACE SYSTEMS 317

6. ROBOTICS, INTELLIGENT SYSTEMS AND AIRCRAFT ARMAMENT 362

7. MATHEMATICAL METHODS IN AEROSPACE SCIENCE AND TECHNOLOGY 379

8. NEW MATERIALS AND PRODUCTION TECHNOLOGY IN THE FIELD OF AVIATION, ROCKET AND SPACE TECHNOLOGY 444

9. ECONOMICS AND MANAGEMENT AT ENTERPRISES OF AEROSPACE COMPLEXES 499

INDEX 607

1. Авиационные системы

1. Aviation Systems

Численные исследования мини-вихревых генераторов воздушной струи в трансзвуковом потоке и влияние температуры на аэродинамические характеристики

[1]Tadin Tenzin, [2]Брутян М.А.
[1]МФТИ, г. Долгопрудный, Россия
[2]ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

На трансзвуковом режиме полета на верхней поверхности крыла одновременно существуют дозвуковая и сверхзвуковая области течения. Местная сверхзвуковая зона замыкается слабым либо сильным скачком уплотнения, который взаимодействует с пограничным слоем на профиле. Наличие скачка приводит к возникновению дополнительного волнового сопротивления. Слабый скачок не вызывает отрыва пограничного слоя, а сильный скачок и, связанный с ним значительный положительный градиент давления могут вызвать волновой отрыв. Это приводит к заметным нестационарным возмущениям, которые связаны с негативным явлением бафтинга. Нестационарные колебания скачка уплотнения и возникновения бафтинга вызывают сильные вибрации и могут привести даже к разрушению крыла.

В настоящей работе на основе численного моделирования изучается активный способ управления обтеканием, основанный на использовании слабых воздушных генераторов вихрей. Низконапорные наклонные струи воздуха выдуваются в область перед ударной волной. Расчет обтекания и анализ были проведены с использованием программы ANSYS-FLUENT, основанной на решении осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса в 3D постановке на суперкритическом профиле Р-184-15 с максимальной толщиной 15 % при числе Маха набегающего потока M = 0.75.

Сформированные продольные вихри увеличивают коэффициент трения вниз по потоку в области ударной волны при ее взаимодействии с пограничным слоем, что благоприятно действует на затягивание отрыва потока. Исследовано также влияние отличия температуры струйных генераторов вихрей от температуры окружающего воздуха на аэродинамические характеристики крыла.

[1] М.А. Брутян: “Основы трансзвуковой аэродинамики”. М: Наука, 2017 г.

Numerical Simulation of Mini Air Jet Vortex Generators in Transonic Flow and Effect of temperature on its Aerodynamic Performance

[1]Tadin Tenzin, [2]Brutyan M.A
[1]MIPT, Dolgoprudny, Russia
[2]TsAGI, Zhukovsky, Russia

In transonic flight regime of a civil aircraft, regions of supersonic and subsonic coexist simultaneously on the suction side of wing. The local supersonic region is invariably terminated by a weak or strong shockwave which interacts with boundary layer. The presence of the shockwave in the flow filed generates an additional drag to subsonic pressure drag known as wave drag which may also leads to adverse pressure gradient and causes separation bubble. A weak normal shockwave when strikes the boundary layer will remain attached downstream. However, if the pressure gradient across the shock is sufficient enough to flow to separate is regarded as shock induced separation. This potentially gives rise to unsteady oscillation of the shock which induces high levels of flow instabilities and this phenomenon is called buffeting. The onset transonic buffet may greatly affect the aerodynamic performances, dramatic lift fluctuations and drag penalties. It particularly concerns the safety issue of passenger aircraft where major challenges such as wing structural damages in addition to discomfort caused by strong vibration [1].

This research presents numerical simulations for applying a more practical way of implementing an co-rotating array of Mini Air Jet Vortex Generators (Mi-AJVGs) as an active transonic flow

control method in which low velocity, pitched and skewed air jet is injected upstream of shock wave. The computational flow analysis has been performed using ANSYS-FLUENT software to solve 3D compressible Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) equations on a P-184-15 supercritical airfoil profile with maximum thickness of 15% at Mach number 0.75.

Streamwise vortices formed increases skin friction coefficient downstream the shockwave boundary layer interaction (SWBLI) which reduces separation region. The influence of Mi-AJVGs to ambient temperature ratio greatly enhances aerodynamic efficiency of the wing.

[1] M.A. Brutyan: “Fundamental of Transonic Aerodynamics”, 2017.

Численное моделирование импульсного шума двухлопастного вертолетного винта

[1]Акиньшин Р.В., [2]Титарев В.А., [1]Фараносов Г.А.
[1]ЦАГИ, г. Жуковский, Россия
[2]ФИЦ ИУ РАН, г. Москва, Россия

Вертолеты являются неотъемлемой частью транспортной системы всех промышленно развитых стран и одним из мощных источников авиационного шума на местности. Требования защиты окружающей среды, в том числе и от неблагоприятного воздействия авиации, нашли отражение в нормах на предельно допустимые уровни шума вертолетов на местности, поэтому моделирование акустических характеристик несущего вертолетного винта представляет собой крайне актуальную и востребованную задачу. При достаточно высокой скорости полета одним из значимых источников шума становится так называемый импульсный шум, связанный с появлением локальной сверхзвуковой зоны на наступающей лопасти. Настоящая работа посвящена численному моделированию данного источника шума для модельных конфигураций с целью валидации используемого программного комплекса “Гербера” [1], предназначенного для моделирования винтовых конфигураций [4,5] и валидированного в задачах моделирования шума самолетных винтов [5] с использованием результатов акустических измерений, проведенных в УНУ “Заглушенная камера с потоком АК-2” ФАУ “ЦАГИ”, модернизируемой при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по соглашению №075-15-2022-1036.

В работе рассматривается задача об определении аэроакустических и аэродинамических характеристик двухлопастного вертолетного винта на режиме полета на основе численного решения уравнений Эйлера. Рассмотрены винты двух типов, соответствующих винтам, исследованным в работах [2, 3]: с лопастями на базе профилей NACA0009 и NACA0012. Моделирование обоих винтов было выполнено для режимов полета, соответствующих условиям проведения экспериментов [2,3], при которых на наступающей лопасти реализовывалась местная сверхзвуковая зона. Рассматривались режимы с нулевым углом установки лопастей, что обеспечивало возможность изучения именно импульсного шума. В результате каждого расчета строилась нестационарная картина обтекания винта и с помощью собственного пакета по методу Фокса Вильямса-Хоукингса рассчитывались временные реализации звукового сигнала в различных точках. Сравнение распределения коэффициента давления на лопастях и звукового излучения, полученных в результате численного моделирования, с данными экспериментов [2, 3] показало их приемлемое совпадение. Таким образом, представленный метод может быть использован для поиска конфигураций лопастей с пониженным уровнем импульсного шума.

Работа Р.В. Акиньшина и Г.А. Фараносова поддержана грантом Российского научного фонда (проект №21-71-30016).

1. Титарев В.А.. Программный комплекс “Гербера” для расчета аэроакустических характеристик воздушных самолетных винтов. Свидетельство о регистрации программ N 2020616696 от 22.06.2020.

2. Boxwell D.A., Schmitz F.H., Splettstoesser W.R., Schultz K.J. Model helicopter rotor high-speed impulsive noise: measured acoustics and blade pressure. NASA Technical Memorandum 85850. USAAVRADCOM Technical Report-83-A-14.

3. Chen C.L., McCroskey W.J., Obayashi S. Numerical Solutions of forward-flight rotor flow using an upwind method. J. Aircraft. 1991. V.28. pp. 374-380.

4. Belyaev I.V., Kopiev V.F., Skvortsov R., Pankratov I., Titarev V., Zaytsev M. Comparison of rotor noise measurement results in large-scale and small-scale anechoic facilities // 21st AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference. 2015. AIAA 2015-2986.

5. Титарев В.А., Фараносов Г.А., Чернышев С.А., Батраков А.С. Численное моделирование влияния взаимного расположения винта и пилона на шум турбовинтового самолета // Акустический журнал. 2018. Т 64. № 6. С. 737-751.

Numerical simulation of high-speed impulsive noise of a two-blade helicopter rotor

[1]Akinshin R.V., [2]Titarev V.A., [1]Faranosov G.A.

[1]TsAGI, Zhukovsky, Russia

[2]FRC "CSC" RAS, Moscow, Russia

Helicopters are an integral part of the transport system of all industrialized countries and one of the significant sources of aircraft noise. The requirements for environmental protection, including those against the adverse effects of aviation, are reflected in the standards for the maximum permissible community noise levels of helicopters. Thus, modeling the acoustic characteristics of a helicopter main rotor is an extremely relevant and in-demand task. At a sufficiently high flight speed, one of the significant sources of noise becomes the so-called impulsive noise associated with the appearance of a local supersonic zone on the advancing blade. This work is devoted to the numerical simulation of this noise source for model configurations in order to validate the Gerbera software package [1] developed for propeller configurations modeling [4,5] and validated for aircraft propeller noise simulations [5] using the results of acoustic measurements conducted at the Anechoic chamber with flow AC-2 of TsAGI, which is being modernized with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under agreement No. 075-15-2022-1036.

The paper considers the problem of determining aeroacoustic and aerodynamic characteristics of a two-bladed helicopter main rotor in flight mode based on the numerical solution of Euler equations. Two types of rotors are considered, corresponding to those studied in [2, 3]. The blades of the two rotors are based on NACA0009 and NACA0012 airfoils, respectively. Simulation of both rotors was performed for flight modes corresponding to the experimental conditions [2, 3], under which a local supersonic zone was realized on the advancing blade. Modes with a zero angle of installation of the blades were considered, which made it possible to study exactly the impulsive noise. As a result of each simulation, a non-stationary picture of the flow around the rotor was obtained and the time histories of the sound signal at various points were calculated using the in-house software package based on the Ffowcs Williams-Hawkings approach. Comparison of the pressure coefficient distribution on the blades and sound radiation, obtained as a result of numerical simulation, with the experimental data [2, 3] demonstrated their acceptable agreement. Thus, the presented method can be used to search for blade configurations with a reduced level of impulsive noise.

The work of R.V. Akinshin and G.A. Faranosov was supported by the Russian Science Foundation (grant no. 21-71-30016).

1. Titarev V.A. The Gerbera software package for calculating aeroacoustic characteristics of aircraft propellers. Certificate of registration of programs N 2020616696 dated 06.22.2020.

2. Boxwell D.A., Schmitz F.H., Splettstoesser W.R., Schultz K.J. Model helicopter rotor high speed impulsive noise: measured acoustics and blade pressure. NASA Technical Memorandum 85850. USAAVRADCOM Technical Report-83-A-14.

3. Chen C.L., McCroskey W.J., Obayashi S. Numerical Solutions of forward-flight rotor flow using an upwind method. J. Aircraft. 1991. V.28. pp. 374-380.

4. Belyaev I.V., Kopiev V.F., Skvortsov R., Pankratov I., Titarev V., Zaytsev M. Comparison of rotor noise measurement results in large-scale and small-scale anechoic facilities // 21st AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference. 2015. AIAA 2015-2986.

5. Titarev V.A., Faranosov G.A., Chernyshev S.A., Batrakov A.S. Numerical modeling of the influence of the mutual arrangement of the propeller and pylon on the noise of a turboprop aircraft // Acoustic journal. 2018. T 64. No. 6. S. 737-751.

Использование технологий дополненной реальности в производстве самолетов

Арслангереев С.Р., Хван А.В., Кривых А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время авиационная промышленность ищет различные способы снижения затрат, наряду с повышением качества продукции. Используя различного рода визуальные подсказки, а также систему обеспечения качества, технология дополненной реальности может обеспечить большую гибкость в производстве авиационной техники без дополнительного риска совершения различных ошибок. Основной целью данной работы является литературный обзор на возможности применения технологии дополненной реальности на авиационных предприятиях, а также этапов внедрения данной технологии в производстве летательных аппаратов.

Одной из основных проблем в производстве авиационной техники является риск возникновения ошибок при стыковке и сборке авиационных агрегатов. Например, ошибки, возникающие при неправильном измерении и контроле, что в дальнейшем влечет за собой неправильный подход к сборке авиационного агрегата. У технологов много времени уходит на расшифровку инструкций по сборке и монтажу готовых изделий. Внедрение технологии дополненной реальности позволит ускорить сборку готовых изделий и гарантировать качество выполненных работ.

Работники могут использовать данную технологию для выявления ошибок. Подключение системы дополненной реальности к мобильным устройствам дает им возможность эффективно выявлять проблемные места. Кроме того, система автоматически собирает данные по ключевым процессам, включая серийные номера, дату и время событий, количество ошибок, а также фотографии каждого шага в режиме реального времени.

Основными ограничениями внедрения данных систем в настоящее время являются высокие требования к:

- характеристикам камер, которые используются для получения видеопотока, аналогичного полю зрения пользователя, с высоким разрешением;
- вычислительным мощностям мобильных устройств, обусловленным необходимостью распознавания объектов методами компьютерного зрения в видеопотоке.

В ходе данной работы было выявлено, что внедрение технологии дополненной реальности позволит ускорить время сборки и стыковки авиационных агрегатов и исключить человеческий фактор, что снизит вероятность возникновения дорогостоящих ошибок.

Для успешной интеграции данной технологии на предприятии необходимо приобретение соответствующих устройств-очков дополненной реальности. Оптимальным соотношением цена-качество обладают очки Epson Moverio BT-200, страна производитель – Япония.

Проанализировано, что планируемый объем инвестиций, требуемых для реализации мероприятий – 1, 721 млн. руб., по 860,5 тыс. руб. на каждое.

Потенциальные эффекты от внедрения технологии дополненной реальности на производстве:

- быстрая окупаемость вложений;
- увеличение производительности труда на 34%;
- снижение ошибок по вине технического персонала на 5-10%;
- снижение зависимости от квалифицированных работников;
- снижение расходов, связанных с командировками на 15-20%.

The use of augmented reality technologies in the production of aircraft

Arslangereev S.R., Khvan A.V., Krivykh.A.A.
MAI, Moscow, Russia

Nowadays, the aviation industry is looking for various ways to reduce costs. Along with improving product quality. Using various kinds of visual tips, as well as a quality assurance system, augmented reality technology can provide greater flexibility in the production of aviation equipment without an additional risk of making various mistakes. The main purpose of this work is a literary review of the

possibility of using augmented reality technology at aviation enterprises, as well as the stages of implementation of this technology in the production of aircraft.

One of the main problems in the production of aviation equipment is the risk of errors in the docking and assembly of aircraft units. For example, errors arising from incorrect measurement and control, which further entails an incorrect approach to assembling an aircraft unit. Technologists spend a lot of time deciphering instructions for assembling and installing finished products. The introduction of augmented reality technology will speed up the assembly of finished products and guarantee the quality of the work performed.

Employees can use this technology to detect errors. Connecting an augmented reality system to mobile devices gives them the opportunity to effectively identify problem areas. In addition, the system automatically collects data on key processes, including serial numbers, date and time of events, number of errors, as well as real-time photos of each step.

The main limitations of the implementation of these systems are currently high requirements for:

- characteristics of cameras that are used to produce a high-resolution video stream similar to the user's field of view;
- computing power of mobile devices due to the need to recognize objects by computer vision methods in a video stream.

In the course of this work, it was revealed that the introduction of augmented reality technology will speed up the time of assembly and docking of aircraft units and eliminate the human factor, which will reduce the likelihood of costly errors.

For the successful integration of this technology at the enterprise, it is necessary to purchase appropriate augmented reality devices. Epson Moverio BT-200 glasses have the optimal price-quality ratio, the country of manufacture is Japan.

It was analyzed that the planned volume of investments required for the implementation of measures is 1,721 million rubles, 860.5 thousand rubles each.

Potential effects of the introduction of augmented reality technology in production:

- quick return on investment;
- increase in labor productivity by 34%;
- reduction of errors due to the fault of technical personnel by 5-10%;
- reducing dependence on skilled workers;
- reduction of travel expenses by 15-20%.

Выбор необходимого уровня подвижности авиационного тренажера гражданской авиации для моделирования сложного пространственного положения и сваливания

Архангельский Ю.А., Зайчик Л.Е., Сорокин С.А.
ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Воспроизведение акселерационных сигналов (перегрузок и угловых ускорений) на тренажерах помогает летчику ознакомиться с особенностями конкретного самолета, что может повысить эффективность наземной тренировки. Однако погрешности воспроизведения действующих на летчика перегрузок и угловых ускорений могут исказить представление летчика о маневре даже больше, чем отсутствие подвижности. Это особенно критично для опасных режимов полета, таких как попадание и вывод самолета из сложного пространственного положения и/или сваливания (СППиС).

Качество воспроизведения акселерационной информации определяется алгоритмами управления движением кабины (АУДК) тренажера. Приобретаемые тренажеры, как правило, имеют в своем составе АУДК, которые не подлежат перенастройке. Поэтому основной целью работы явилось исследование необходимого уровня подвижности тренажера для моделирования режимов СППиС.

На основе разделения сценария попадания в СППиС на задачи стабилизации (до СППиС) и маневрирования (после СППиС) и разработанного ранее в ЦАГИ теоретического подхода к оценке роли ускорений в различных задачах пилотирования сформулирована гипотеза, согласно которой: (1) для тренировки предупреждения попадания в СППиС желательно воспроизводить ускорения по всем 6 степеням свободы, включая бафтинг; (2) для тренировки

выводу самолета из СППиС достаточно моделировать только бафтинг в вертикальном и боковом каналах.

Проведен анализ имеющихся критериев качества воспроизведения ускорений. Показано, что единого критерия для оценки качества моделирования ускорений в широком диапазоне частот, соответствующем и задачам стабилизации (до СППиС), и задачам маневрирования (после СППиС), не существует. Поэтому необходимо пользоваться подходом, разработанным в ЦАГИ.

На пилотажном стенде ПСПК-102 рассмотрены три варианта системы подвижности: неподвижный стенд, только бафтинг, полная подвижность. В экспериментах принимали участие 4 летчика-испытателя, имеющих большой опыт полетов на сваливание. Разработана шкала оценок и методика проведения эксперимента. Проведенный анализ оценок летчика и критериев качества доказал состоятельность выдвинутой гипотезы.

Estimation of required motion cueing capability of civil aviation training simulator to reproduce aircraft upset and stall

Arkhangelsky Y.A., Zaichik L.E., Sorokin S.A.
TsAGI, Zhukovsky, Russia

Reproduction of motion cues (linear and angular accelerations) on on-ground training simulators facilitates recognizing aircraft peculiarities by a pilot, which contributes to his/her training effectiveness. However, inevitable motion cueing inaccuracy can distort pilot's idea about maneuver even greater than lack of simulation motion. This is especially dangerous for flight modes like aircraft upset/stall.

Motion cueing fidelity is determined by simulator motion system drive algorithms. As a rule, drive algorithms of training simulators are not the subject for adjusting. Thus, the goal of the present work is to study the level of simulator motion sufficient to adequately reproduce aircraft upset approaching and recovery maneuver.

Aircraft upset scenario can be divided into two types of piloting tasks: stabilization task (before upset) and maneuver task (after upset). Based on this assumption, as well as on a theoretical approach developed at TsAGI to assess the role of motion cues in piloting, the following hypothesis is formulated: (1) for upset/stall prevention training the entire 6 DoF motion is required, including buffeting; (2) for upset/stall recovery training reproduction of buffeting cues is sufficient.

Motion fidelity criteria available in publications are analyzed. It is demonstrated that there is no a criterion to assess motion cueing fidelity within the frequency range covering both stabilization (before upset) and maneuver type (after upset) tasks. Thus, we need to use the criteria developed in TsAGI earlier.

Experiments are conducted on full flight simulator PSPK-102 TsAGI. In the course of experiments three motion system configurations are considered: fixed-base, isolated buffeting, full motion. Four experienced test pilots took participated in the experiments. A special pilot rating scale and experimental procedure are developed.

The analysis of the pilot ratings and motion fidelity criteria confirms the validity of the hypothesis formulated.

Разработка регулятора на базе принципа «обратная динамика» для линейной модели самолета

Бикинеева А.П.
МАИ, г. Москва, Россия

Безопасность полета самолета является одним из ключевых требований, которые предъявляются к авиационной технике. Большинство авиационных происшествий приходится на ошибки летного экипажа [1], в частности, это ошибки, связанные с ручным пилотированием (60-75%).

В связи с этим, к авиационной технике предъявляются жесткие требования по надежности устанавливаемых на них бортовых систем, вероятность отказа которых не должна превышать 10-9 [2].

Одной из сложнейших задач для летчика является посадка самолета. На этом участке полета от пилота требуется вводить значительные опережающие действия и образования контуров по нескольким координатам. При этом, на летчика действует огромная нагрузка, что может привести к аварийной ситуации. Однако, можно автоматизировать ручное управление и тогда летчику будет намного легче управлять самолетом.

Существует два пути автоматизации самолета. Первый – это исключения летчика из контура управления. Но в случае возникновения ситуации, когда потребуется перейти на ручное управление, процесс пилотирования может усугубиться. Второй вариант – создать систему управления, которая гармонизировала действия летчика и автоматики, и обеспечивала необходимые пилотажные характеристики.

Существуют разные пути обеспечения необходимых пилотажных свойств, например, создание новых дисплеев [3], создание новых типов рычагов управления и создание новых алгоритмов системы управления.

Для упрощения процесса пилотирования и для повышения безопасности полета предложено ввести в систему управления регулятор, построенный на принципе «обратной динамики» [4].

В работе рассматривается линейная модель сверхзвукового пассажирского самолета в продольном канале. На такой модели оценивается робастность самолета, его пилотажные характеристики, а также оценивается использование префильтров для предотвращения явления PIO [5].

Экспериментальные исследования проводились с использованием полунатурного моделирования на пилотажном стенде лаборатории МАИ НИЛ ПССЛ.

Публикация подготовлена в рамках реализации Программы создания и развития научного центра мирового уровня «Сверхзвук» на 2020-2025 годы при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение от «16» ноября 2020 г. № 075-15-2020-924).

Литература:

1. Civil Aviation Authority, 1998, CAP681;

2. 14 CFR part 25 “Airworthiness standards: Transport Category Airplanes.”;

3. Efremov A.V., Tiaglik M.S., “The development of perspective displays for highly precise tracking task in the book”, Advances in Aerospace Guidance, Navigation and Control, Springer, 2011, pp. 163-174;

4. J. R. Fisher, AIRCRAFT CONTROL USING NONLINEAR DYNAMIC INVERSION IN CONJUNCTION WITH ADAPTIVE ROBUST CONTROL, Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University, pp. 189, December 2004;

5. Ефремов А. В., Щербаков А. И., Корзун Ф. А., Проданик В. А., Перспективные средства подавления раскачки самолета летчиком, Вестник МАИ, Т. 29. № 1. С. 201-210, 2022.

Development of a controller on based the inverse dynamics principle for a linear aircraft model

Bikineeva A.P.

MAI, Moscow, Russia

Flight safety is one of the key requirements for aviation technology. Most of aviation incidents are caused by flight crew error [1] – in particular, pilot error associated with manual control (60-75%).

As a result, there are strict requirements for aircraft onboard systems, whose probability of failure must not exceed 10-9 [2].

One of the most difficult piloting tasks is landing the aircraft. In this phase of the flight, the pilot is required to introduce significant lead actions and form additional loops using multiple coordinates. While doing so, the pilot experiences high workload, which can lead to an emergency. However, it is possible to automate manual control, making it much easier for the pilot to control the aircraft.

There are two ways to automate an aircraft. The first is the elimination of the pilot from the control loop, but in the event of a situation where a switch to manual control is required, piloting performance may deteriorate. The second option is to design a control system, which harmonizes the pilot’s actions and automatic controls, providing the necessary handling qualities.

There are different ways to ensure the required flying qualities – for example, the design of new displays [3], the design of new types of inceptors, and new control system algorithms.

To simplify the piloting process and improve flight safety, it is proposed to introduce a controller based on the inverse dynamics principle to the control system [4].

The paper considers a linear model of a supersonic transport in the longitudinal channel. Using such a model, the aircraft's robustness and flying qualities are assessed, as well as the use of prefilters to prevent PIOs [5].

The experimental studies were performed using a ground-based simulator of MAI's Pilot-Vehicle Laboratory.

The paper was prepared under the Program for the Development of a World-Class Research Center "Supersonic" in 2020-2025, funded by the Russian Ministry of Science and Higher Education (Agreement dated 16 Nov 2020 № 075-15-2020-924).

References:

1. Civil Aviation Authority, 1998, CAP681;

2. 14 CFR Part 25 "Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes";

3. A.V. Efremov and M.S. Tiaglik, "The Development of Perspective Displays for Highly Precise Tracking Tasks", Advances in Aerospace Guidance, Navigation and Control, Springer, 2011, pp. 163-174;

4. J. R. Fisher, "Aircraft Control Using Nonlinear Dynamic Inversion in Conjunction with Adaptive Robust Control", Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University, December 2004, pp. 189;

5. A.V. Efremov, A.I. Shcherbakov, F.A. Korzun, and V.A. Prodanik, "Promising means of suppressing pilot-induced oscillations", Aerospace MAI Journal, Vol. 29 No. 1, 2022, pp. 201-210.

Сравнительная оценка математических моделей полимерного композиционного материала с реализацией трехмерного напряженно-деформированного состояния при моделировании ударного воздействия

Больших А.А., Шелков К.А., Боровков Д.К.

МАИ, г. Москва, Россия

Основным фактором риска для применяемых в силовых конструкциях современных воздушных судов (ВС) полимерных композиционных материалов (ПКМ) являются случайные механические (ударные) воздействия, возникающие в ходе эксплуатации, которые могут приводить к нарушению целостности конструкции или снижению исходных характеристик прочности. Основными источниками этих воздействий являются [1]:

- град;
- удары посторонними предметами или разрушившимися агрегатами ВС:
  - столкновения с птицами;
  - удары нелокализованными обломками разрушенного двигателя, пневматиков и дисков колеса шасси;
  - удары камнями на ВПП;
  - удары ВС при взлете или посадке.
- производственные прошествия в процессе наземного технического обслуживания ВС.

Данные воздействия могут приводить как легкого обнаруживаемым повреждениям (VID), так и не обнаруживаемым в ходе визуального осмотра производственные или эксплуатационные повреждения (BVID). При этом для каждой категории повреждения должна быть обеспечена прочность от требуемых нагрузок, так, например, для повреждений первой категории (BVID) должна быть обеспечена статическая прочность от расчетной нагрузки в течении всего срока службы.

Обеспечение данного требования производится экспериментальными и расчетными методами. Для проведения численного расчета с помощью метода конечных элементов (МКЭ) необходимо использовать модель ПКМ, которая позволит с высокой точностью воспроизвести возникающие в результате удара повреждения. В настоящее время широко распространены критерии прочности монослоя, основывающиеся на реализации плоского

напряженно-деформированного состояния (ПНДС), в котором учитываются только компоненты тензора напряжений в плоскости слоя. Но при ударном воздействии большую роль играет также направление из слоя.

Научной новизной предложенной математической модели ПКМ является добавление критерия прочности монослоя для объемных КЭ, учитывающих направление из плоскости слоя. В данной работе проведена сравнительная оценка критериев прочности для ПКМ при моделировании ударного воздействия [2,3]. Были разработаны модели с послойным моделированием образца из ПКМ с когезивным интерфейсом между слоями для учета расслоений, возникающих при ударном воздействии [4].

[1] Обеспечение прочности композитных авиационных конструкций с учетом случайных эксплуатационных ударных воздействий: монография / Фейгенбаум Ю.М. [и др.]. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2018. – 506 с.: 47 табл., 228 рис., лит.: 164 наим.

[2] Hu, H.; Wei, Q.; Liu, B.; Liu, Y.; Hu, N.; Ma, Q.; Wang, C. Progressive Damage Behaviour Analysis and Comparison with 2D/3D Hashin Failure Models on Carbon Fibre–Reinforced Aluminium Laminates. Polymers 2022, 14, 2946.

[3]Wang, John & Pineda, Evan & Ranatunga, V & Smeltzer, SS. (2015). 3D Progressive damage modeling for laminated composite based on crack band theory and continuum damage mechanics.

[4] O. Falcó, R.L. Ávila, B. Tijs, C.S. Lopes, Modelling and simulation methodology for unidirectional composite laminates in a Virtual Test Lab framework, Composite Structures, Volume 190, 2018, Pages 137-159

Comparative evaluation of mathematical models of polymer composite material with the implementation of a three-dimensional stress-strain state in the simulation of impact

Bolshikh A.A., Shelkov K.A., Borovkov D.K.
MAI, Moscow, Russia

The main risk factor for polymer composite materials (PCM) used in the load carrying structure of modern aircraft are accidental mechanical impacts that occur during operation, which can lead to a violation of the integrity of the structure or a decrease in the initial strength characteristics. The main sources of these impacts are:

- hail;
- impacts by foreign objects or collapsed aircraft units:
  - bird strike;
  - impacts by non-localized fragments of the destroyed engine, pneumatics and wheels of the chassis;
  - stoning on the runway;
  - aircraft impacts during takeoff or landing.
- Production lapses in the process of ground maintenance of aircraft.

These impacts can lead to both detectable damage (VID) and non-detectable industrial or operational damage (BVID) during visual inspection. At the same time, for each category of damage, strength from the required loads must be provided, so, for example, for damage of the first category (BVID), static strength from the design load must be provided throughout the entire service life.

The provision of this requirement is carried out by experimental and computational methods. To carry out numerical calculations using the finite element method (FEM), it is necessary to use the PCM model, which will allow reproducing the damage resulting from the impact with high accuracy. Currently, monolayer strength criteria based on the implementation of a plane stress-strain state are widely used, in which only the components of the stress tensor in the plane of the layer are taken into account. But in case of impact, the direction from the layer also plays an important role.

The scientific novelty of the proposed mathematical model of PCM is the addition of a monolayer strength criterion for volumetric FE, taking into account the direction from the plane of the layer. In this paper, a comparative assessment of the strength criteria for PCM in the simulation of impact was carried out. Models with layer-by-layer modeling of a PCM sample with a cohesive interface between layers were developed to account for delaminations arising from impact.

Целесообразность использования подвижных пилотажных стендов при проведении исследований по оценке средств автоматизации

Воронка Т.В., Тяглик М.С.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время широкое распространение на этапе проектирования авиационной техники получили пилотажные стенды, которые используются для моделирования полета в наземных условиях. Оно необходимо для отработки законов систем управления, систем отображения информации, прототипировании и т. п. В практике создания установок для полунатурного моделирования принято воспроизводить для летчика визуальную, кинестетическую и акселерационную информацию. Для решения большинства задач не является обязательным моделировать все виды воспринимаемой летчиком информации, что позволяет существенно сократить расходы на создание пилотажных стендов. В настоящей работе рассматривается вопрос рациональности использования наиболее дорогостоящей системы – системы моделирования акселерационных ощущений в задачах оценки эффективности средств отображения полетной информации нового поколения при различных видах атмосферных возмущений.

С этой целью в работе была выбрана задача посадки сверхзвукового пассажирского самолета (СПС) нового поколения. Для обеспечения безопасности и точности выполнения задачи посадки для СПС был разработан новый дисплей с прогнозированием траектории полета, оценка эффективности которого проверялась для двух видов атмосферных возмущений: сдвиг ветра, вызванный микровзрывом, и вихревой след от ранее пролетевшего самолета. Для того, чтобы дать ответ о целесообразности использования подвижной платформы для этих исследований, были проведены серии экспериментальных исследований с включенной и выключенной системой моделирования акселерационных ощущений.

В условиях действия на самолет сдвига ветра, вызванного микровзрывом, не происходило быстрого отклонения от глиссады, поэтому с использованием прогнозного дисплея летчик выполнял задачу слежения и не было выявлено влияния подвижной платформы на результаты экспериментальных исследований.

При воздействии на самолет вихревого следа происходило быстрое самопроизвольное знакопеременное изменение крена самолета, что дезориентирует летчика и вызывает значительные отклонения от глиссады. Большие отклонения от глиссады требовали от летчика стабилизации самолета в пределах допустимых отклонений от глиссады, после чего перехода к задаче слежения за директорными сигналами индикации. Описанные особенности привели к тому, что результаты, полученные при включенной подвижной платформе, существенно отличаются от результатов, полученных на неподвижном пилотажном стенде.

В задачах, в которых возможен переход от задачи слежения к задаче стабилизации или в которых возможны быстрые изменения параметров движения, приводящие к дезориентации летчика, целесообразным является использование системы моделирования акселерационной информации с целью получения достоверных результатов при полунатурном моделировании.

Публикация подготовлена в рамках реализации Программы создания и развития научного центра мирового уровня «Сверхзвук» на 2020-2025 годы при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение от «20» апреля 2022 г. № 075-15-2022-309)

Expediency of Using a Moving-Base Flight Simulator for Research on the Evaluation of Pilot Aids

Voronka T.V., Tiaglik M.S.
MAI, Moscow, Russia

Currently, flight simulators are widely used in the design stage of aviation technology to replicate flight conditions through ground-based means. It is necessary for working out the laws of control systems, information display systems, prototyping, etc. In the practice of developing equipment for ground-based simulation, it is customary to reproduce visual, kinesthetic and, motion information for the pilot. When solving most problems, it is not necessary to simulate all types of information perceived by the pilot, which allows to significantly reduce the cost of creating flight simulators. In

this paper, we consider the rationality of using the most expensive system – a motion cue simulation system – in the tasks of evaluating the effectiveness of next-generation flight information display equipment under various types of atmospheric disturbances.

For this purpose, the task of landing a next-generation supersonic transport (SST) was chosen for the study. To ensure the safety and accuracy of landing the SST, a new flight path prediction display was developed, the effectiveness of which was tested for two types of atmospheric disturbances: wind shear caused by a microburst and a wake vortex from a previously passing aircraft. In order to determine the expediency of using a motion platform in these studies, a series of experiments were carried out with the motion cue simulation system turned on and off.

In wind shear conditions caused by a microburst, there was no rapid deviation from the glide slope. Therefore, using the predictive display, the pilot performed a tracking task, and no influence of the motion base on the results of experimental studies was demonstrated.

When the aircraft was affected by wake turbulence, a rapid spontaneous alternating change in roll occurred, which led to pilot disorientation and significant deviations from the glide slope. This required the pilot to stabilize the aircraft within the acceptable deviations range before proceeding to the task of tracking the flight director's indication signals. The described features led to the fact that the results obtained with an active motion platform differ significantly from the results obtained using a fixed-base simulator.

In tasks in which transition from a tracking problem to a stabilization problem is possible or in which rapid changes in motion parameters are possible, leading to pilot disorientation, it is advisable to use a motion cue simulation system in order to obtain reliable results in ground-based simulation.

The paper is prepared in the framework of the Program for the development of a world-class research center “Supersonic” in 2020-2025 founded by Russian Ministry of Science and Higher Education (Agreement 20 Apr 2022 № 075-15-2022-309).

Разработка нормативных документов по прочности конструкции воздушных судов малой авиации. Концепция и основные требования

Гаврилова А.В., Зайцев А.М., Мамедов О.С., Матвеев В.А.
ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

При разработке новых нормативных документов по прочности конструкции воздушных судов малой авиации (ВС МА) необходимо учитывать следующие основные факторы:

- актуализация соответствия и гармонизация с существующими нормативными документами – Федеральными законами «Воздушный кодекс» и «О техническом регулировании», Федеральными авиационными правилами, ГОСТ;
- унификация с международными нормами;
- оптимизация избыточных, по сравнению с воздушными судами транспортной категории, нормативных требований к прочности конструкции ВС МА.

Немаловажной задачей является снижение затрат и сроков на разработку, сертификацию и эксплуатацию ВС МА без снижения уровня безопасности полетов.

Действующие базовые нормативные документы по обеспечению прочности конструкции ВС МА базируются на опыте 40-х до начала 90-х годов прошлого века, изложенном в Руководствах для конструкторов и зачастую излишне консервативном. Данные рекомендации, как правило, не учитывают современную специфику требований по созданию и вводу в эксплуатацию воздушных судов гражданского назначения, государственной и экспериментальной авиации, возросшие возможности вычислительных комплексных (многодисциплинарных) методов, применяемых при проектировании конструкции самолета, имитационном моделировании полета, расчетах статической прочности, аэроупругой устойчивости и долговечности конструкции.

Предлагается при разработке нормативных требований прочности ВС МА учитывать ряд дополнительных факторов, например, эксплуатацию при различных климатических условиях, в том числе с грунтовых взлетно-посадочных полос, унификацию по целевому применению, методам пилотирования и т.д. Совокупность этих факторов практически делает невозможным прогнозирование типовых профилей полетов и долговечности конструкции методами,

применяемыми для ВС транспортной категории. В соответствии с этим, в нормативных документах прочности предлагается увеличение роли расчетных методов анализа прочности конструкции ВС МА с применением современных средств объективного контроля (мониторинга) состояния планера самолета

Литература:

1. Федеральный закон «Воздушный кодекс Российской Федерации».

2. Федеральные авиационные правила «Сертификация авиационной техники, организаций разработчиков и изготовителей. Часть21».

3. ГОСТ Р 58849-2020 «Авиационная техника гражданского назначения. Порядок создания. Основные положения».

Regulatory documents development for structural strength of small aircrafts. Concept and basic specifications

Gavrilova A.V., Zaycev A.M., Mamedov O.S., Matveev V.A.

TsAGI, Zhukovsky, Russia

In the formulating of the new regulatory documents for structural strength of small aircraft it is necessary to fulfill the following main factors:

• mainstream and harmonization with existing regulatory documents – federal rules of Air Codes and Technical Regulation, Federal aviation rules, GOST;

• unification with international norms;

• optimization of regulatory documents for the structural strength of small aircraft that are redundant in comparison with aircraft of the transport category.

An important factor is the cost and time reduction for the development, certification and operation of small aircraft without negative effects on flight safety.

Existing basic regulatory documents for structural strength of small aircrafts are based on the Design Standards developed from the 40s to the early 90s of last century. Generally, this recommendation do not take into account modern specific of design, production and operation requirements, commercial state and experimental aircrafts, potential application for computing complex (multidisciplinary) methods used in the design of an aircraft structure, flight simulation and calculation of static strength, aerolastic stability, fatigue life of the structure.

It's proposed to consider a variety of additional factors – for example, operations under various climatic conditions, including takeoff from rough airways, unification for target application, piloting techniques, etc. while developing regulatory documents for structural strength of small aircraft are invited. The combinations of this factors practically makes impossible the prediction of typical flight profiles and life of the structure by the methods applied to transport category aircraft. In accordance with these regulatory documents for structural strength of small aircraft it is proposed to expand the role of calculation methods for analyzing the structural strength of the small aircraft with the application of the objective monitoring means of the aircraft state.

References:

1. Federal Law "Air Code of the Russian Federation".

2. Federal Aviation Regulations "Certification of aviation equipment, development organizations and manufacturers. Part21".

3. GOST R 58849-2020 "Civil aviation equipment. The order of creation. Basic provisions".

Многокритериальный выбор двухимпульсного режима движения беспилотного летательного аппарата

[1]Гайдаров Д.Д., [2]Балык В.М.

[1]МКБ «Искра» им. И.И. Картукова, [2]МАИ, г. Москва, Россия

В работе рассматривается задача проектирования авиационной управляемой ракеты (АУР) с ракетным двигателем твердого топлива. Проводится сравнительный анализ движения АУР по траектории в режиме многократного включения. В работе показывается, что в известной мере регулировать ракетный двигатель твердого топлива (РДТТ) можно с помощью отсечки тяги в определенные моменты времени. Это осуществляется с помощью специально

сконструированных заслонок. Для реализации пассивного участка полета в состав вектора проектных параметров вводится продолжительность пассивного участка, которая выбирается из условия максимизации дальности полета. В частности, включение в траекторию полета пассивных участков полета, наряду с увеличением дальности полета АУР, может привести к потерям по высоте полета, времени работы АУР и другим критериям оптимальности.

По существу, траектория АУР, состоящая из комбинации активных (с работающим двигателем) и пассивных участков (с неработающим двигателем) траектории, определяется режимом движения АУР, который наряду с проектными параметрами АУР и параметрами РДТТ составляют вектор проектного решения, который выбирается по векторному критерию.

Выбор окончательного проектного решения проводится с применением свертки с переменными весовыми коэффициентами. Обоснование такого применения свертки выводится из принципа рационального организации сложной технической системы, выигрыш от применений пассивных участков составил в среднем 10 % по дальности. Аддитивный принцип с оптимальными весовыми коэффициентами позволяет выбирать проектные решения без привлечения какой-либо информационных гипотез и при наличии у проектанта системы предпочтения проводится корректировка полученного решения в соответствии с такой системой предпочтений.

Multi-criteria choice of two-pulse unmanned aerial vehicle driving mode

[1]Gaydarov D.D., [2]Balyk V.M.
[1]MBDB “Iskra”, [2]MAI, Moscow, Russia

The paper considers the problem of designing an aviation guided missile (AGM) with a solid propellant rocket engine. A comparative analysis of the movement of the AGM along the trajectory in the mode of multiple activation is carried out. The paper shows that, to a certain extent, it is possible to regulate a solid propellant rocket engine (SPRE) by means of a thrust cutoff at certain points in time. This is done using specially designed dampers. To implement the passive flight segment, the duration of the passive segment is introduced into the vector of design parameters, which is selected from the condition of maximizing the flight range. In particular, the inclusion of passive flight segments in the flight trajectory, along with an increase in the flight range of the AGM, can lead to losses in flight altitude, AGM operation time and other optimality criteria.

In essence, the AGM trajectory, which consists of a combination of active (with the engine running) and passive sections (with the engine off) of the trajectory, is determined by the AGM movement mode, which, along with the design parameters of the AGM and the parameters of the SPRE, constitute a vector of the design solution, which is selected according to the vector criterion.

The choice of the final design solution is carried out using convolution with variable weight coefficients. The rationale for this application of convolution is derived from the principle of rational organization of a complex technical system; the gain from the use of passive sections was on average 10% in range. The additive principle with optimal weighting coefficients makes it possible to choose design solutions without involving any information hypotheses, and if the system designer has preferences, the resulting solution is adjusted in accordance with such a system of preferences.

Разработка закона управления регулятора с использованием альтернативных средств автоматизации на этапе посадки для сверхзвукового пассажирского самолета

Гришина А.Ю., Ефремов А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящей работе предложен алгоритм системы управления, предполагающий использование на сверхзвуковом пассажирском самолете второго поколения дополнительного органа непосредственного управления подъемной силой (ОНУПС) [2]. Это позволит обеспечить «развязку» линейного и углового движения с целью улучшения пилотажных характеристик [3], а также снизить воздействие перегрузок на экипаж и пассажиров при попадании в интенсивную атмосферную турбулентность. В работе также исследуется целесообразность интеграции ОНУПС и перспективной системы отображения информации с прогнозной индикацией [1-2].

Экспериментальные исследования проводились в МАИ на подвижном пилотажном стенде, где выполнялась задача посадки самолета.

Исходя из полученных в экспериментальных исследованиях результатов можно сделать следующие выводы. Интегрирование НУПС с прогнозным дисплеем:

• в 35 раз уменьшает СКО по углу атаки;
• в 11 раз уменьшает СКО по нормальной перегрузке.
• в 20 раз уменьшает СКО по боковой координате Z;
• почти в 9 раз уменьшает СКО по углу крена.

Уменьшение СКО крена и боковой координаты связано с уменьшением загрузки летчика в продольном канале и ростом доли внимания, уделяемой им боковому движению.

• в 29 раз уменьшает СКО по высоте H;
• в 6 раз уменьшает СКО по углу тангажа;
• почти в 6 раз уменьшается СКО расхода рычага управления по тангажу хв;
• в 9 раз уменьшается СКО расхода рычага управления по крену хе;
• также на 20 процентов снижаются расходы РУД‘а.

Публикация подготовлена в рамках реализации Программы создания и развития научного центра мирового уровня «Сверхзвук» на 2020-2025 годы при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение от «16» ноября 2020 г. № 075-15-2020-924).

Литература:

1. Ефремов А.В., Тяглик М.С., «Разработка средств отображения информации для авиационной техники, обеспечивающих высокоточное пилотирование», журнал Полет №11, декабрь 2010.

2. А. В. Ефремов, А. В. Кошеленко, М. С. Тяглик «Разработка структуры и алгоритмов системы управления, предусматривающих использование дополнительных органов управления», Вестник МАИ, 2009.

3. Ефремов А.В., Оглоблин А.В. Методическое обеспечение исследований пилотажных свойств самолетов на пилотажных стендах и тренажерах. М: Машиностроение, Полет № 5 2001.

Development of a controller control law using alternative means of automation at the landing stage for a supersonic passenger aircraft

Grishina A.Y., Efremov A.V.
MAI, Moscow, Russia

Flight control system law, supposing the use a direct lift control device (DLC) [2] is proposed in this paper. It provides a decoupling the linear and angular motion, allows to improve flying qualities [3] and to decrease the effect of load factory acting on to the pilots and passenger due to the flight in intense atmospheric turbulence of the supersonic passenger aircraft (SPA). The expediently of integration DLC and perspective information indication system with predictive indication [1,2] is studied too.

Experiments were carried out at MAI moving base simulator where the landing task was performed by operators. The experiments on integration of DLC with predictive display demonstrated the improvement of all characteristics in comparison with the version of conventional type of motion mode and primary flight display. In particular:

• the root mean square (RMS) of angle of attack decreased by a factor of 35;
• the RMS of a load factor decreased by a factor of 11;
• the RMS lateral coordinate decreased by a factor of 20;
• the RMS of roll angle decreased by a factor of 9;

The decrease in the RMS of the roll and lateral coordinates can be explain by the decrease of pilots work load in the longitudinal channel. It allowed to track more precisely in the lateral channel and causing an increase of share of attention which pilots paid to the lateral channel.

• The RMS of altitude decreased by a factor of 29;
• The RMS of pitch angle decreased by a factor of 6;

All characteristic defining of pilots control outputs improved significantly as well.

The paper is prepared in the framework of the Program for the development of a world-class research center “Supersonic” in 2020-2025 founded by Russian Ministry of Science and Higher Education (Agreement 16 Nov 2020 № 075-15-2020-924).

References:

1. Efremov A.V., Tyaglik M.S., “Development of information display tools for aviation equipment, providing highly accurate piloting”, Polet magazin No.11, December 2010

2. A.V. Efremov, A.V. Koshelenko, M.S. Tyaglik “Development of the structure and algorithms of the control system, involving the use of additional controls”, Vestnik MAI, 2009

3. Efremov A.V., Ogloblin A.V. “Methodical support for research handling qualities of aircraft on a ground-based station and simulators. M: Mechanical Engineering, Flight No.5 2001

Разработка технологического процесса изготовления рабочей лопатки компрессора из штамповки на 5-ти координатном фрезерном станке с ЧПУ

Деткин А.В., Куприков М.Ю., Кравчик Т.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Лопатки паровых и газовых турбин имеют сложную геометрическую форму, что обуславливает не только трудоемкость технологического процесса производства, но и высокую стоимость изготовления лопаток. При работе турбины лопатки, находятся в агрессивной среде, помимо длительной механической нагрузки (от центробежных сил, сил сопротивления с рабочим телом газом/паром), лопатки также подвергаются длительной температурной нагрузке, коррозии и эрозии. Для обеспечения работы лопаток в таких условиях применяются: высоколегированные нержавеющие стали, жаропрочные стали на основе никеля, титановые сплавы.

Вышеописанные материалы относятся к группе труднообрабатываемых материалов. Сложность обработки резанием материалов с содержанием никеля, титановых сплавов обусловлена в первую очередь их механическими свойствами, поэтому для увеличения производительности обработки, в качестве заготовок для последующей мех. обработки применяют отливки или штамповки, вместо прутков. Выбор таких заготовок, в разы снижает КИМ (коэффициент использования материала), снижает время обработки лопатки, а также уменьшает расход режущего инструмента. Но при этом в силу сложной геометрической формы заготовки появляется необходимость применения специальной оснастки для базирования и фиксации заготовки в процессе изготовления, что в свою очередь усложняет технологический процесс.

В статье описан технологический процесс производства компрессорных лопаток из штамповки с применением станков с ЧПУ. Также описана оснастка для базирования лопатки по рабочей части, которая была изготовлена по принципу шести точечного базирования.

В статье приведены траектории фрезерования пера лопатки обработки на фрезерных 5ти координатных станках с ЧПУ. Анализ отклонений математической модели лопатки с данными полученными средствами 3D сканирования в ПО Geomagic Control X.

В результате были разработаны:

- управляющая программа рабочей лопатки компрессора в Siemens NX 2027;
- оснастка для установки изделия на станке с базированием по перу;
- оснастка для установки изделия на станке с базированием по хвостовику;
- приспособление для механического контроля сечений лопатки на полировальной операции;
- программа для контроля измеренных данных лопатки в виде STL модели.

Был разработан и успешно внедрён технологический процесс изготовления рабочих лопаток компрессора из штамповки, с применением оснастки, изготовленной по принципу 6ти точечного базирования, адаптированной под 5-ти координатный станок с ЧПУ.

Development of the technological process of manufacturing the compressor blade from stamping on a 5-coordinate CNC milling machine

Detkin A.V., Kuprikov M.Yu., Kravchik T.N.
MAI, Moscow, Russia

The blades of steam and gas turbines have a complex geometric shape, which causes not only the complexity of the production process, but also the high cost of manufacturing blades. When the turbine is operating, the blades are in an aggressive environment, in addition to prolonged mechanical load (from centrifugal forces, resistance forces with the working fluid gas / steam), the blades are also subjected to prolonged temperature load, corrosion and erosion. To ensure the operation of the blades in such conditions, the following are used: high-alloy stainless steels, nickel-based heat-resistant steels, titanium alloys.

The materials described above belong to the group of hard-to-process materials. The complexity of cutting materials containing nickel, titanium alloys is primarily due to their mechanical properties, therefore, to increase processing productivity, as blanks for subsequent fur. Castings or stampings are used for processing, instead of rods. The choice of such blanks significantly reduces the CMM (material utilization factor), reduces the processing time of the blade, and reduces the consumption of the cutting tool. However, at the same time, due to the complex geometric shape of the workpiece, it becomes necessary to use special equipment for basing and fixing the workpiece during manufacturing, which in turn complicates the technological process.

The article describes the technological process of production of compressor blades from stamping using CNC machines. It also describes the equipment for basing the blade on the working part, which was manufactured according to the principle of six-point basing.

The article presents the milling trajectories of the processing blade pen on 5-coordinate CNC milling machines. Analysis of deviations of the mathematical model of the blade with the data obtained by means of 3D scanning in the software Geomagic Control X.

As a result, the following were developed:

- the control program of the compressor blade in Siemens NX 2027;
- equipment for installing the product on a machine based on blade;
- equipment for installing the product on a machine with a base on the shank;
- device for mechanical control of blade cross sections during polishing operation;
- a program for monitoring the measured data of the blade in the form of an STL model.

The technological process of manufacturing compressor blades from stamping was developed and successfully implemented, using equipment manufactured according to the principle of 6-point basing, adapted for a 5-coordinate CNC machine.

Сглаживание аэродинамического профиля с использованием безусловной оптимизации

Ерохин А.П., Денискин Ю.И.
МАИ, г. Москва, Россия

Аэродинамические характеристики самолета в значительной мере определяются выбором профиля крыла. Оптимальная форма профиля обеспечивает минимальное аэродинамическое сопротивление и максимальную подъемную силу.

При проектировании крыла выполняется множество итераций изменения геометрических характеристик профиля. Такие изменения требуются в ходе аэродинамической оптимизации, а также дальнейшей конструктивной проработки поверхности крыла. При этом возможны искажения обвода профиля, для устранения которых требуется сглаживание.

В работе рассматривается сглаживание таблично заданных кривых, описывающих аэродинамические профили. Исследовано сглаживание обвода, выпуклого на всем протяжении, но имеющего существенные перепады графика кривизны. Рассмотрена задача обеспечения плавного изменения кривизны сглаживаемого обвода.

Задача сглаживания обвода представлена как задача минимизации квадратичной функции многих переменных. В качестве аргументов квадратичной функции использованы значения вторых производных функции, интерполирующей кривую сглаживаемого аэродинамического профиля, заданного таблично, в его узлах.

Для решения задачи квадратичную функцию требовалось представить в виде явной зависимости от ординат узлов сглаживаемого обвода. Для этого значения второй производной функции, интерполирующей обвод, в каждом его узле выражены через значения этой функции в пяти точках с помощью безразностных формул численного дифференцирования.

Поскольку полученная целевая квадратичная функция имеет непрерывные первые частные производные во всех точках сглаживаемого обвода, для поиска её минимума использован метод градиентного спуска с постоянным шагом.

Для полученной целевой функции был разработан алгоритм минимизации по методу градиентного спуска. На основе данного алгоритма была разработана компьютерная программа, с помощью которой проведено сглаживание рассматриваемого аэродинамического профиля.

Сглаживание позволило получить достаточно плавный график кривизны профиля, однако в хвостовой части профиля при этом возникла непредусмотренная вогнутость. Таким образом, результаты проведенного сглаживания подтверждают правильность выбора целевой функции и эффективность разработанной методики сглаживания для задач обеспечения плавности изменения кривизны. Однако методика требует доработки для недопущения появления на кривой непредусмотренных перегибов. Наиболее перспективным представляется использование методов условной минимизации целевой функции с ограничениями, препятствующими изменению знака кривизны в узлах обвода.

Литература:

1. Березин И. С., Жидков Н. П. Методы вычислений. т. 1 / М.: Изд-во физико-математической литературы, 1962. – 464 с.

2. Пантелеев А. В. Методы оптимизации в примерах и задачах: Учеб. пособие / А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. – 2-е изд., исправл. – М.: Высш. шк., 2005. – 544 с.: ил.

3. Deniskin Y.I. Simulation of an aerodynamic profile with sections of ad hoc concavity / Deniskin Y.I., Yerokhin A., Artiukh V., Vershinin V., Pocebneva I. // E3S Web of Conferences. – 2019. V. 110. 01074.

4. Runze L.I. Pressure distribution guided supercritical wing optimization / Runze L.I., Deng K., Zhang Y., Chen H. // Chinese Journal of Aeronautics. – 2018. V. 31(9). pp. 1842-54.

5. Zhang Y. Supercritical natural laminar flow airfoil optimization for regional aircraft wing design / Zhang Y., Fang X., Chen H., Fu S., Duan Z., Zhang Y. // Aerospace Science and Technology. – 2015. V. 43, June. pp. 152-164.

Airfoil smoothing using unconditional optimization

Erokhin A.P., Deniskin Yu.I.

MAI, Moscow, Russia

The aerodynamic characteristics of an aircraft are largely determined by the choice of wing profile. The optimal profile shape ensures minimum drag and maximum lift.

When designing a wing, many iterations of changing the geometric characteristics of the airfoil are performed. Such changes are required in the course of aerodynamic optimization and in further design development of the wing surface. In this case, distortions of the contour of the profile are possible, for the elimination of which smoothing is required.

The paper considers the smoothing of tabular given curves describing airfoils. The smoothing of the contour, convex throughout the entire length, but having significant differences in the curvature graph, is investigated. The problem of ensuring a smooth change in the curvature of the smoothed contour is considered.

The contour smoothing problem is presented as a problem of minimizing the quadratic function of many variables. As arguments of the quadratic function, the values of the second derivatives of the function interpolating the curve of the smoothed airfoil given in a table at its nodes are used.

To solve the problem, it was necessary to represent the quadratic function in the form of an explicit dependence on the ordinates of the nodes of the smoothed contour. For this, the values of the second derivative of the function interpolating the contour at each of its nodes are expressed in terms of the values of this function at five points using non-difference numerical differentiation formulas.

Since the objective function has continuous first partial derivatives at all points of the contour, the gradient descent method with a constant step was used to find its minimum.

For the resulting objective function, a minimization algorithm was developed. A computer program based of this algorithm was developed, with the help of which the considered airfoil was smoothed.

Smoothing made it possible to obtain a fairly smooth graph of the profile curvature, however, an unforeseen concavity appeared in the tail part of the profile. Thus, the results of the performed smoothing confirm the correctness of the choice of the objective function and the effectiveness of the developed smoothing technique for the tasks of ensuring the smoothness of the change in curvature. However, the technique needs to be improved to prevent the appearance of unforeseen inflections on the curve. The most promising is the use of methods of conditional minimization of the objective function with restrictions that prevent changing the sign of the curvature at the contour nodes.

References:

1. Berezin I. S., Zhidkov N. P. Calculation methods / Moscow, Publishing house of phys. and math. literature, 1962.

2. Panteleev A. V. Optimization methods in examples and tasks: Proc. allowance / edited by A.V. Panteleev and T.A. Letova, Moscow, Higher school, 2005.

3. Deniskin Y.I. Simulation of an aerodynamic profile with sections of ad hoc concavity / Deniskin Y.I., Yerokhin A., Artiukh V., Vershinin V., Pocebneva I. // E3S Web of Conferences. – 2019. V. 110. 01074.

4. Runze L.I. Pressure distribution guided supercritical wing optimization / Runze L.I., Deng K., Zhang Y., Chen H. // Chinese Journal of Aeronautics. – 2018. V. 31(9). pp. 1842-54.

5. Zhang Y. Supercritical natural laminar flow airfoil optimization for regional aircraft wing design / Zhang Y., Fang X., Chen H., Fu S., Duan Z., Zhang Y. // Aerospace Science and Technology. – 2015. V. 43, June. pp. 152-164.

Модификация нелинейного ограничителя скорости отклонения привода и его интеграция с системой управления на базе принципа «обратная динамика»

Ефремов Е.В., Ефремов А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящей работе выполнен комплекс экспериментальных исследований по оценке эффективности различных вариантов нелинейных ограничителей скорости отклонения привода. Рассмотрены ограничитель Feedback-with-Bypass (FWB), разработанный фирмой SAAB [1], альтернативный префильтр, предложенный в работах МАИ [2] и модифицированный ограничитель, который является интеграцией систем SAAB и МАИ. В работе показано, что наилучшая точность пилотирования в условиях, когда на приводе стоят ограничения на максимальную скорость отклонения, достигается при использовании модифицированного ограничителя. В частности, при ограничении 30 град/с такая система позволяет достигнуть точности пилотирования в 1.5 раза лучше, чем при использовании альтернативного префильтра МАИ и примерно ту же точность, что и при использовании системы FWB. При этом при ограничении 15 град/с модифицированный ограничитель обеспечивает точность пилотирования в 1.8 раз лучше по сравнению с FWB.

При введении модифицированного ограничителя в тракт управления, где система управления (СУ) построена на базе принципа «обратная динамика», точность пилотирования ухудшилась в 1.2 раза при ограничении 30 град/с и в 1.6 при 15 град/с по сравнению со случаем, когда на приводе стоят ограничения, но никаких префильтров нет. Это объясняется тем, что фильтры обратной динамики реализуют высокоскоростные сигналы, которые ограничители не отрабатывают. Для решения этой проблемы было предложено ввести в тракт управления дополнительный префильтр, который ограничивает скорость от регулятора СУ. Это позволило уменьшить дисперсию ошибки в 1.3 раза и в 4.7 раз при ограничениях на приводе 30 град/с и 15 град/с соответственно по сравнению со случаем, когда дополнительный префильтр отсутствует, тем самым обеспечивая наилучшую точность при действии ограничений на приводе. Кроме того, модифицированный ограничитель позволяет подавить

явление раскачки самолета летчиком, возникающей из-за ограничений скорость отклонения рулевых поверхностей.

Публикация подготовлена в рамках реализации Программы создания и развития научного центра мирового уровня «Сверхзвук» на 2020-2025 годы при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение от 17.05.2022 г.№ 075-15-2022-1023)

Литература:

1. L. Rundqwist, Rate Limiters with Phase Compensation. Proceedings of 20th Congress of ICAS, 1996.

2. A.V. Efremov, A.I. Shcherbakov, F.A. Korzun, and V.A. Prodanik, Prospective Means of Suppressing Pilot-Induced Oscillations. Aerospace MAI Journal, 2022, Vol.29, No.1.

Modification of the nonlinear rate limiter of actuator deflection and its integration with the flight control system based on the "inverse dynamics" principle

Efremov E.V., Efremov A.V.

MAI, Moscow, Russia

In the present work, a set of experimental studies on evaluating the efficiency of different types of nonlinear rate limiters has been performed. The Feedback-with-Bypass (FWB) rate limiter developed by SAAB [1], an alternative prefilter proposed in the works of MAI [2], and a modified limiter, which is an integration of SAAB and MAI systems were considered. The paper shows that the best piloting accuracy under conditions where the maximum deflection rate constraints are placed on the actuator is achieved with the modified rate limiter. Particularly, at 30 deg/s restriction, this system allows to achieve piloting accuracy 1.5 times better than using the alternative MAI pre-filter and approximately the same accuracy as using the FWB system. At the same time, at 15 deg/s, the modified rate limiter provides 1.8 times better piloting accuracy than the FWB.

When the modified rate limiter is installed into the control loop, where the flight control system (FSC) is based on the "inverse dynamics" principle, the piloting accuracy is 1.2 times worse at 30 deg/s limiting and 1.6 times worse at 15 deg/s compared to the case where the actuator has limitations without prefilters. This is explained by the fact that the inverse dynamics filters implement high-rate of signals saturating the rate limiter. To solve this problem, it was proposed to introduce an additional prefilter in the control loop, which limits the rate from the controller. This reduces the error variance by a factor of 1.3 and a factor of 4.7 for 30 deg/s and 15 deg/s rate limits correspondingly, compared to the case where there is no additional prefilter, thereby providing the best accuracy for rate limited actuator. In addition, the modified rate limiter allows to suppress the pilot induced oscillation event, caused by rate limits of control surfaces deviation.

The paper is prepared in the framework of the Program for the development of a world-class research center “Supersonic” in 2020-2025 founded by Russian Ministry of Science and Higher Education (Agreement 17.05.2022 г.№ 075-15-2022-1023)

References:

1. L. Rundqwist, Rate Limiters with Phase Compensation. Proceedings of 20th Congress of ICAS, 1996.

2. A.V. Efremov, A.I. Shcherbakov, F.A. Korzun, and V.A. Prodanik, Prospective Means of Suppressing Pilot-Induced Oscillations. Aerospace MAI Journal, 2022, Vol.29, No.1.

Информационная система трёхмерного динамического контроля воздуха

[1]Жуков А.А., [2]Алексеев О.А., [2]Калинин С.Ю.

[1]МАИ, [2]ООО «Космотехпроект», г. Москва, Россия

Для предотвращения заражения (отравления) воздуха в городах над территориями, прилегающими к промышленным предприятиям и агропромышленным комплексам требуется эффективный мониторинг обширных воздушных пространств. Особенно остро вопрос мониторинга встаёт при наступлении чрезвычайных ситуаций техногенного характера. В ООО «Космотехпроект» и МАИ проводится работа по созданию информационной системы, нацеленной на решение сформулированной задачи. Применение системы позволит осуществлять регулярный, динамический, трёхмерный мониторинг. Задача пока не имеет

окончательного решения из-за неразвитости технологий в связи с чем является крайне актуальной.

Информационная система состоит из децентрализованной одноранговой сети, каждый узел которой организован на беспилотном летательном аппарате (БПЛА). БПЛА оснащаются датчиками одновременного определения параметров воздушной среды (не менее 12 параметров) и аппаратурой динамической геоинформационной системы. В БПЛА могут использоваться высокочувствительные газоанализаторы на основе приборов диодной лазерной абсорбционной спектроскопии. Один узел способен обеспечить трёхмерное наблюдение воздушного пространства над площадью около гектара за время приблизительно 30 минут. При этом скорость перемещения БПЛА должна быть не менее 7 м/с. Узлы сети перемещаются в заданном воздушном пространстве для выявления загрязняющего объекта. Подвижные узлы обмениваются информацией о движении друг с другом с целью необходимой корректировки сценариев. Информационная система трёхмерного динамического контроля воздуха обеспечивает значительное повышение оперативности и точности выявления источника воздействия на окружающую среду [1]. Научный задел основан на результатах выполненного в 2010-2018 годах Московско-Баварского проекта, направленного на преобразование сигналов датчиков в электрические сигналы и отображению результатов удалённо на мониторе компьютера.

Полученные результаты являются основанием для обоснованной разработки информационной системы трёхмерного динамического контроля воздуха для конкретных задач.

Литература:

1. С.Ю. Калинин, А.Ф. Дудкин, А.В. Мовляв. Способ мониторинга окружающей среды и беспилотный аппарат для использования в данном способе. Патент РФ RU2645249. Заявл.: 2016133716. 17.08.2016. Опубл. 19.02. 2018. Бюл. 3.

Information system of three-dimensional dynamic air control

[1]Zhukov A.A., [2]Alekseev O.A., [2]Kalinin S.Yu

[1]MAI, [2]Kosmostehproekt LLC, Moscow, Russia

To prevent air contamination (poisoning) in cities over territories adjacent to industrial enterprises and agro-industrial complexes, effective monitoring of vast air spaces is required. The issue of monitoring is particularly acute when man-made emergencies occur. In LLC "Kosmostehproekt" and MAI, work is underway to create an information system aimed at solving the formulated task. The use of the system will allow for regular, dynamic, three-dimensional monitoring. The task does not yet have a final solution due to the underdevelopment of technologies, and therefore it is extremely urgent.

The information system consists of a decentralized peer-to-peer network, each node of which is organized on an unmanned aerial vehicle (UAV). UAVs are equipped with sensors for simultaneous determination of air parameters (at least 12 parameters) and dynamic geoinformation system equipment. Highly sensitive gas analyzers based on diode laser absorption spectroscopy devices can be used in UAVs. One node is able to provide three-dimensional observation of the airspace over an area of about a hectare for a time of approximately 30 minutes. At the same time, the speed of movement of the UAV should be at least 7 m / s. The network nodes move in a given airspace to identify a polluting object. The mobile nodes exchange information about the movement with each other in order to adjust the scenarios as necessary. The information system of three-dimensional dynamic air control provides a significant increase in the efficiency and accuracy of identifying the source of environmental impact [1]. The scientific groundwork is based on the results of the Moscow-Bavarian project carried out in 2010-2018, aimed at converting sensor signals into electrical signals and displaying the results remotely on a computer monitor.

The obtained results are the basis for the reasonable development of an information system for three-dimensional dynamic air control for specific tasks.

References:

1. S. Yu. Kalinin, A. F. Dudkin, A.V. Movlyav. A method for monitoring the environment and an unmanned vehicle for use in this method. Patent of the Russian Federation RU2645249. Application: 2016133716. 17.08.2016. Publ. 19.02. 2018. Byul. 3.

Выбор оптимальных форм и расчет проушин типа ухо – вилка для заданной нагрузки

[1]Журавлев А.А., [2]Ерофеев М.В., [1]Серебрянский С.А.
[1]МАИ, [2]ПАО Ил, г. Москва, Россия

Цифровые технологии, применяемые в проектно-конструкторских работах, позволяют создавать детали и узлы агрегатов планера, в которых реализуются достижения в области высоких технологий [1].

В данной работе рассматривается подход к расчёту на прочность силовых проушин, которые являются ответственными силовыми элементами, воспринимающие сосредоточенные силы.

Подбор оптимальных форм и размеров проушин типа ухо – вилка под действующие на них нагрузки является одним из проектировочных расчетов. Особенности расчёта заключаются в необходимости учёта концентрации напряжений, которые возникают возле отверстия, и совместного учёта пластических деформаций, которые снижают концентрацию [2. 3].

При разработке конструкции проушины нужно учитывать нагрузку и линейные размеры самой проушины. В целях упрощения задачи визуализации и нахождения оптимальных форм и размеров проушины были сравнены различные методики решения данной задачи.

Разработанная на основе MS.Excel программа автоматизированного расчета на прочность проушин типа ухо – вилка может применяться при проектировании и расчете проушин типа ухо – вилка.

Результаты расчетов в расчетной программе MS.Excel и SimCenter 3D показывают хорошую точность и сходимость.

Результаты расчета в SimCenter 3D показали высокую степень сходимости с результатами испытаний. Расхождение составило в среднем от 2 до 5 %.

Проведен анализ полученных результатов и разработаны рекомендации к расширению диапазона отношений линейных размеров в соответствии с требованиями прочности.

Литература:

1. Цифровые технологии в жизненном цикле Российской конкурентоспособной авиационной техники / А. Г. Братухин, С. А. Серебрянский, Д. Ю. Стрелец [и др.]. – Москва : Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020. – 448 с. – ISBN 978-5-4316-0694-6. – EDN ZGQVGN.

2. С.Я. Макаров Справочная книга по расчету самолета на прочность / С.Я. Макаров, М.Ф. Астахов, А.В. Караваев, Я. Я. Суздальцев – М.: Книга по Требованию, 2013. – 709 с.

3. Методическое пособие РДК №13 АК им «С. В. Ильюшина».

Selection of optimal shapes and calculation of ear- plug type eyelets for a given load

[1]Zhuravlev A.A., [2]Erofeev M.V., [1]Serebryansky S.A.
[1]MAI, [2]PAO “IL”, Moscow, Russia

Digital technologies used in design work make it possible to create parts and assemblies of airframe units that implement achievements in the field of high technology [1].

In this paper, we consider an approach to calculating the strength of power eyelets, which are responsible power elements that perceive concentrated forces.

The selection of optimal shapes and sizes of ear – plug type eyelets for the loads acting on them is one of the design calculations. The calculation features consist in the need to take into account the concentration of stresses that occur near the hole, and the joint consideration of plastic deformations that reduce the concentration [2. 3].

When developing the design of the eyelet, it is necessary to take into account the load and the linear dimensions of the eyelet itself. In order to simplify the visualization task and find the optimal shapes and sizes of the eyelet, various methods for solving this problem were compared.

Developed on the basis of MS.Excel, the program for automated calculation of the strength of ear-plug type eyelets can be used in the design and calculation of ear–plug type eyelets.

The results of calculations in the calculation program MS.Excel and SimCenter 3D show good accuracy and convergence.

The SimCenter 3D calculation results showed a high degree of convergence with the test results. The discrepancy averaged from 2 to 5%.

The analysis of the obtained results was carried out and recommendations were developed to expand the range of linear size ratios in accordance with the strength requirements.

Literature:

1. Digital technologies in the life cycle of Russian competitive aviation technology / A. G. Bratukhin, S. A. Serebryansky, D. Yu. Strelets [et al.]. – Moscow: Moscow Aviation Institute (National Research University), 2020. – 448 p. – ISBN 978-5-4316-0694-6. – EDN ZGQVGN.

2. S.Ya. Makarov Reference book on the calculation of aircraft strength / S.Ya. Makarov, M.F. Astakhov, A.V. Karavaev, Ya. Ya. Suzdaltsev – M.: Book on Demand, 2013. – 709 p.

3. Methodological manual of the RDK No. 13 of the AK named after S. V. Ilyushin.

Исследование гистерезиса аэродинамических характеристик корпуса вертолёта по углу скольжения

Задоя М.В., Ивчин В.А.

НЦВ Миль и Камов, р.п. Томилино, Россия

В данной работе исследовался гистерезис аэродинамических сил имоментов, возникающий при колебании вертолёта по углу скольжения.

Объектом работы являлся транспортный вертолёт классической схемы. Моделировалось движение изолированного корпуса вертолёта без учёта влияния несущего винта с помощью методов вычислительной гидродинамики (CFD). Были исследованы конфигурации модели с килем и без. Угол скольжения в расчёте менялся по синусоидальному закону, частота и амплитуда которого соответствовали определённым в лётных испытаниях вертолётов сходной конфигурации.

На первом этапе работы строились неструктурированные расчётные сетки в программе Ansys ICEM CFD, состоящие из 56-66 млн тетраэдрических и призматических ячеек. Размер первой ячейки выбирался таким, чтобы параметр y+ был меньше 1. Количество призматических слоёв составляло 51.

Далее численно решалась система уравнений Навье-Стокса, осреднённых по Рейнольдсу совместно с уравнением сохранения энергии в программном пакете Ansys CFX. Для замыкания системы применялась модель турбулентности Ментора SST, которая хорошо себя зарекомендовала для задач внешней аэродинамики.

Из результатов расчётов видно, что существует гистерезис аэродинамических характеристик по углу скольжения. При вращении корпуса вокруг центра тяжести возникают демпфирующие моменты.

Причиной их появления служит изменение условий обтекания. Была проведена оценка вклада киля и корпуса вертолёта без киля в данное явление. Проведено сравнение результатов расчётов CFD с аналитически определёнными демпфирующими моментами, создаваемыми килем.

Из результатов данного исследования видно, что основной причиной гистерезиса аэродинамических характеристик при колебании корпуса вертолёта является изменения угла скольжения киля. При этом колебании корпуса вертолёта без киля так же приводят к гистерезису АДХ, амплитуда которых ниже, чем при вращении вертолёта с килем.

Investigation of the hysteresis of the helicopter's aerodynamic characteristics by changing slip angle

Zadoya M.V., Ivchin V.A.
NHC Mil&Kamov, Tomilino, Russia

The hysteresis of aerodynamic forces and moments that occurs when the helicopter oscillates along the slip angle was investigated in this paper.

The object of the work was a transport helicopter of the classical scheme.

The movement of an isolated helicopter body was simulated without taking into account the interference between the main rotor and the fuselage using computational fluid dynamics (CFD) methods. The configurations of the model with a keel and without a keel were investigated.

The slip angle in the calculation varied according to a sinusoidal law determined in flight tests helicopters of a similar configuration.

At the first stage of the work, unstructured computational grids consisted of 56-66 million tetrahedral and prismatic cells were built in the Ansys ICEM CFD program. The size of the first cell was chosen so that the parameter y+ was less than 1. The number of prismatic layers was 51.

Next, a system of Navier-Stokes equations averaged by Reynolds together with the energy conservation equation were solved with the Ansys CFX software package.

The Mentor SST turbulence model was used to close the system of equations, which proved itself well for external aerodynamics problems.

It can be seen from the calculation results that there is a hysteresis of aerodynamic characteristics by changing slip angle. When the body rotates around the center of gravity, damping moments occur.

The reason for their appearance is a change in the flow conditions. The contribution of the keel and the helicopter without a keel to this phenomenon was assessed. The results of CFD calculations are compared with analytically determined damping moments created by the keel.

It can be seen from the results of this study that the main reason for the hysteresis of aerodynamic characteristics during the oscillation of the body the helicopter is changing the slip angle of the keel. In this case, the oscillation of the helicopter body without a keel also leads to a hysteresis of aerodynamic characteristics, the amplitude of which is lower than hysteresis amplitude of the helicopter with a keel.

Маршрут наискорейшего облета протяженных объектов легким беспилотником с учетом виражей и действия ветра

Калашников А.И., Моисеев Д.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Методика оптимизации маршрутов облета легким беспилотным летательным аппаратом (БЛА) комбинации точечных и протяженных объектов с учетом действия ветра известна [1]. Однако расчет критерия, то есть времени полета по маршруту при этом проводится приближенно без учета виражей, необходимых для изменения курса БЛА. Без этого упрощения невозможна естественная декомпозиция задачи маршрутизации на подзадачу траекторных расчетов наискорейшего перелета между парами объектов и задачу нахождения оптимальной последовательности облета объектов. При наличии только протяженных объектов оказывается возможным проведение траекторных расчетов с учетом виражей при изменении направления полета. Такая возможность появляется, поскольку для протяженных объектов в отличие от точечных объектов априори известна информация как о координатах крайних точек этих объектов, так и требуемых направлениях вектора скорости в этих точках. Соответственно оказывается возможным построение траекторий типа траекторий Дубинса [2], состоящих из различных комбинаций прямых и дуг окружностей, связывающих любые пары объектов. Естественно при траекторных расчетах для каждой пары объектов проводится оптимизация на множестве упомянутых траекторий для нахождения наискорейшей из них с учетом действия ветра.

Отметим, что случай связывания маршрутом протяженных объектов возникает в гражданской сфере, например, при наблюдении элементов транспортных, энергетических и т.п. инфраструктур или вдоль естественного ландшафта и представляет практический интерес.

В докладе приведен пример формирования оптимального маршрута облета протяженных объектов с учетом виражей и действия ветра.

Литература:

1. Моисеев Д.В., Моисеева С.Г., Односталко И.А. Планирование наискорейшего маршрута облета легким дроном точечных и протяженных объектов в поле постоянного ветра // Тезисы докладов 16-ой Международной конференции «Авиация и космонавтика – 2017», 20-24 ноября 2017г., Москва. – М.: Типография «Люксор», 2017 – С.279 – 278.

2. L.E. Dubins, “On curves of minimal length with a constraint on average curvature, and with prescribed initial and terminal positions and tangents,” American Journal of Mathematics, vol. 79, no. 3, pp. 497–516, July 1957.

High performance path of small UAV for track-objects under turn effect and wind

Kalashnikov A.I., Moiseev D.V.

MAI, Moscow, Russia

The method of optimization of flight path by UAV of a combination of point and track-objects, taking into account the effect of the wind [1]. However, the calculation of the criterion, that is, the flight time along the path, is carried out approximately without taking into account the turns necessary to change the course of the UAV. Without this simplification, the natural decomposition of the routing problem into the subproblem of trajectory calculations of the fastest flight between pairs of objects and the problem of finding the optimal sequence of flying around objects is impossible. In the presence of only extended objects, it is possible to carry out trajectory calculations, taking into account the turns when changing the direction of flight. This possibility appears, since for extended objects, in contrast to point objects, information is known a priori both about the coordinates of the extreme points of these objects and the required directions of the velocity vector at these points. Accordingly, it turns out to be possible to construct trajectories such as Dubins' trajectories [2], consisting of various combinations of straight lines and circular turn connecting any pairs of objects. Naturally, in the trajectory calculations for each pair of objects, optimization is carried out on the set of the mentioned trajectories to find the fastest of them, taking into account the effect of the wind.

Note that the case of linking extended objects by a route occurs in the civilian sphere, for example, when observing elements of transport, energy, etc. infrastructures or along natural landscape.

The results in this paper provide example of formation of high performance path for track-objects by small UAV under turn effect and wind.

References:

1. Moiseev D.V., Moiseeva S.G., Odnostalko I.A. Planning the fastest route for small drone for point and extended objects in constant field of wind// article « Aviation and Astronautics - 2017», – p.279 – 278.

2. L.E. Dubins, “On curves of minimal length with a constraint on average curvature, and with prescribed initial and terminal positions and tangents,” American Journal of Mathematics, vol. 79, no. 3, pp. 497–516, July 1957.

Актуальность разработки и производства беспилотных летательных аппаратов специального назначения

Кара Г.Ю., Серебрянский С.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Предметом исследования являются беспилотные летательные аппараты (БЛА), предназначенные для выполнения определенных узкоспециализированных задач.

Актуальность использования БЛА прежде всего вызвана тем, что управление им осуществляется с наземных пунктов, либо автономно. Соответственно нет необходимости затрачивать долю полезной нагрузки на размещение экипажа, а использовать строго по назначению для реализации поставленных целей [1].

При проектировании исчезает целый ряд ограничений, вызванных размещением экипажа на борту – появляется возможность сделать БЛА менее габаритными, они могут барражировать

в небе и патрулировать местность более суток, совершать маневры с перегрузками, которые человек выдержать не способен [2].

В данной работе рассматривается необходимость использования БЛА с упрощенной конструкцией, отвечающей критериям ускоренных процессов проектирования и производства. При выполнении задач, не влекущих к значительным изменениям продольной балансировки летательного аппарата на всех фазах полета, наиболее предпочтительна аэродинамическая схема «летающее крыло». Отсутствие фюзеляжа и оперения исключают соответствующие значения лобового сопротивления и интерференцию. При этом растет аэродинамическое качество и, как следствие, увеличивается дальность полета. Обучение операторов БЛА по сравнению с подготовкой летчиков происходит быстрее и с меньшими затратами, при этом отбор на обучение не такой жесткий. Стоит отметить и то, что подавляющее большинство БЛА обходятся намного дешевле как в производстве, так и в эксплуатации с последующей утилизацией.

Учитывая технический уровень развития, наличие компетенций и опыт использования БЛА как в нашей стране, так и за рубежом, можно с уверенностью говорить о возможности производить конкурентоспособные БЛА с высоким уровнем автоматизации [3]. БЛА может выполнять поставленные задачи автономно, совершая полет по определенным заданным режимам полета и траектории, достигая при этом назначенных точек приземления самостоятельно с высоким уровнем точности. При этом значительно снижается нагрузка на операторов.

Результаты исследований должны привести к современным концепциям реализации беспилотных полетов с целью выполнения текущих задач с максимальной разгрузкой персонала на этапе эксплуатации БЛА.

Литература:

1. Серебрянский, С. А. Некоторые подходы по управлению конфигурацией беспилотных авиационных систем на этапах жизненного цикла / С. А. Серебрянский, К. Г. Настас // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021) : Труды Четырнадцатой международной конференции, Москва, 27–29 сентября 2021 года / Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2021. – С. 1202-1211. – DOI 10.25728/4499.2021.39.74.001. – EDN WOEBMH.

2. Серебрянский, С. А. Подход к формированию технического облика беспилотного воздушного судна / С. А. Серебрянский, А. Е. Парненков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2019. – Т. 19. – № 3. – С. 43-52. – DOI 10.14529/engin190305. – EDN GQKHSM.

3. Цифровые технологии в жизненном цикле Российской конкурентоспособной авиационной техники / А. Г. Братухин, С. А. Серебрянский, Д. Ю. Стрелец [и др.]. – Москва : Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020. – 448 с. – ISBN 978-5-4316-0694-6. – EDN ZGQVGN.

The relevance of the development and production of unmanned aerial vehicles for special purposes

Kara G.Yu., Serebryansky S.A.
MAI, Moscow, Russia

The relevance of the development and production of unmanned aerial vehicles for special purposes.

The subject of the study are unmanned aerial vehicles (UAVs) designed to perform certain highly specialized tasks.

The relevance of the use of UAVs is primarily due to the fact that they are controlled from ground points, or autonomously. Accordingly, there is no need to spend a share of the payload on crew accommodation, but to use it strictly for its intended purpose to achieve the set goals.

When designing, a number of other restrictions caused by the presence of the crew on board disappear – it becomes possible to make UAVs less overall, they can barrage in the sky and patrol the area for more than a day, perform maneuvers with overloads that a person is not able to withstand.

This paper considers the need to use UAVs with a simplified design that meets the criteria for accelerated design and production processes. When performing tasks that do not entail significant changes in the longitudinal balancing of the aircraft in all phases of flight, the aerodynamic configuration "flying wing" is most preferable. The absence of fuselage and empennage eliminates the corresponding drag values and interference. At the same time, the aerodynamic quality increases and, as a result, the flight range increases. The training of UAV operators compared to the training of pilots is faster and at lower cost, while the selection for training is not so tough. It is worth noting that the vast majority of UAVs are much cheaper both in production and in operation with subsequent disposal.

Considering the technical level of development, the availability of competencies and the experience of using UAVs both in our country and abroad, we can confidently speak about the possibility of producing UAVs with a high level of automation. The UAV can perform the assigned tasks autonomously, flying in certain specified flight modes and trajectories, while reaching the designated touchdown points independently with a high level of accuracy. This significantly reduces the burden on operators.

The results of the research should lead to modern concepts for the implementation of unmanned flights in order to perform current tasks with maximum unloading of personnel during the operation of the UAV.

References:

1. Serebryansky S.A., Nekotorye podhody po upravleniyu konfiguraciej bespilotnyh aviacionnyh sistem na etapah zhiznennogo cikla [Some approaches to managing the configuration of unmanned aerial systems at the stages of the life cycle. Proceedings of the 14rd International Conference]. Moscow, 2021, pp. 1202-1211.

2. Serebryansky S.A., Podhod k formirovaniyu tekhnicheskogo oblika bespilotnogo vozdushnogo sudna [Approach to the formation of the technical appearance of an unmanned aircraft. Mashinostroenie]. Moscow, 2019, vol. 19, no 3, pp. 43-52.

3. Bratuhin A.G., Serebryansky S.A., Strelec D.Yu., Cifrovye tekhnologii v zhiznennom cikle Rossijskoj konkurentosposobnoj aviacionnoj tekhniki [Digital technologies in the life cycle of Russian competitive aviation equipment].Moscow, Moscow aviation institute (National research university), 2020, 448 p.

Исследование возможности применения полуэмпирических формул для расчета аэродинамических характеристик профиля лопасти несущего винта вертолета с управляемым закрылком

[1]Каргаев М.В., [2]Ивчин В.А.

[1]МАИ, г. Москва, Россия

[2]НЦВ Миль и Камов, р.п. Томилино, Россия

Управление закрылками, установленными на лопастях, является одним из способов реализации концепции индивидуального управления лопастями [1], ставшей одним из трендов разработки несущих винтов, что подтверждается большим многообразием разработанных механизмов управления закрылками.

В настоящее время задача определения аэродинамических характеристик лопастей несущего винта с управляемым закрылком решается преимущественно с использованием численного моделирования, а также экспериментальных исследований. Однако применение упомянутых способов требует очень больших вычислительных ресурсов и затрат времени, а во втором случае, ещё и серьезных финансовых вложений. На этапах проектирования, испытаний и сертификации нового образца вертолетной техники применение таких сложных и дорогостоящих способов не всегда приемлемо.

Метод расчета, изложенный в настоящей работе, при сохранении необходимой для практики точности, лишен указанных недостатков, и состоит в получении простых полуэмпирических формул для расчета аэродинамических характеристик профиля лопасти несущего винта вертолета с управляемым закрылком, включая шарнирные моменты, на основе экспериментальных данных продувок [2].

В программах, применяемых для расчета аэродинамических и прочностных характеристик несущих винтов, а также нагрузок в системе управления, используются поляры профилей в зоне прямого обтекания при 7°<α<15° и 0,3<M<0,9 [3]. Характеристики профилей получают в аэродинамической трубе Т-106 ЦАГИ на крыльях конечного удлинения и после пересчета на λ=∞ и поправок на увеличенные числа Re они используются для расчетов. В остальном диапазоне углов атаки считается, что поляры профилей существенно не отличаются, и независимо от имеющегося в данном сечении лопасти профиля поляра остается постоянной, взятой из круговой продувки профиля NACA-230-12. Поэтому алгоритм влияния закрылка с различными его величинами в процентах от хорды профиля и параметрами углов отклонения закрылка, и разработан применительно к полярам профилей в диапазоне углов атаки α и чисел M, принятых для расчетов.

Таким образом, разработан метод расчета аэродинамических характеристик профиля и шарнирных моментов закрылка лопасти несущего винта вертолета с управляемым закрылком в зависимости от углов отклонения и размеров закрылка в широком диапазоне углов атаки и чисел Маха. Сравнительные расчеты аэродинамических характеристик профилей с управляемым закрылком по полученным формулам показали хорошую сходимость с экспериментальными данными. Разработанный метод расчета аэродинамических характеристик профилей позволяет выполнять расчеты аэродинамических, динамических и прочностных характеристик несущих систем вертолета с управляемым закрылком.

1. Анимица В.А., Борисов Е.А., Крицкий Б.С., Миргазов Р.М. Анализ расчетно-экспериментальных исследований по системам индивидуального управления лопастями винта вертолета// Труды МАИ. – 2016. – №85. – С. 1-25.

2. Андреев Г.Т., Глущенко Г.Н., Кутухина Н.В., Мельничук Ю.П., Павленко О.В. Аэродинамические компенсации шарнирных моментов рулевых поверхностей самолетов с ручным управлением. – М.: Инновационное машиностроение, 2017. – 363 с.

3. Миль М.Л., Некрасов А.В., Браверман А.С., Гродко Л.Н., Лейканд М.А. Вертолёты, расчёт и проектирование: в 2 томах. – М.: Машиностроение, 1966/1967. – (457+424) с.

Investigation of the possibility of using semi-empirical formulas to calculate the aerodynamic characteristics of the main rotor blade profile of a helicopter with a controlled flap

[1]Kargaev M.V., [2]Ivchin V.A.

[1]MAI, Moscow, Russia

[2]JNHC Mil&Kamov, Tomilino, Russia

The control of flaps mounted on the blades is one of the ways to implement the concept of individual blade control [1], which has become one of the trends in the development of rotors, which is confirmed by the large variety of developed flap control mechanisms.

Currently, the problem of determining the aerodynamic characteristics of the rotor blades with a controlled flap is solved mainly using numerical modeling, as well as experimental studies. However, the use of these methods requires very large computing resources and time, and in the second case serious financial investments. At the stages of designing, testing and certification of a new model of helicopter technology, the use of such complex and expensive methods is not always acceptable.

The calculation method described in this paper, while maintaining the accuracy necessary for practice, is devoid of these disadvantages, and consists in obtaining simple semi-empirical formulas for calculating the aerodynamic characteristics of the rotor blade profile of a helicopter with a controlled flap, including hinge moments, based on experimental data of purges [2].

In the programs used to calculate the aerodynamic and strength characteristics of the rotors, as well as loads in the control system, profile polars are used in the direct flow zone at 7°<α<15° and 0,3<M<0,9 [3]. Profile characteristics are obtained in the wind tunnel T-106 TsAGI on the wings of the final elongation and after conversion to λ=∞ and corrections for increased numbers Re they are used for calculations. In the rest of the range of angles of attack, it is assumed that the profile polars do not differ significantly, and regardless of the profile blade present in this section, the polar remains constant, taken from the circular purge of the NACA-230-12 profile. Therefore, the algorithm of the flap effect with its various values as a percentage of the chord of the profile and the parameters of

the flap deflection angles, and was developed in relation to the profile polars in the range of angles of attack α and the numbers M taken for calculations.

Thus, a method has been developed for calculating the aerodynamic characteristics of the profile and the hinge moments of the main rotor blade of a helicopter with a controlled flap, depending on the deflection angles and flap sizes in a wide range of angles of attack and Mach numbers. Comparative calculations of the aerodynamic characteristics of profiles with a controlled flap according to the formulas obtained showed good convergence with experimental data. The developed method for calculating the aerodynamic characteristics of the profiles allows calculations of the aerodynamic, dynamic and strength characteristics of the helicopter main rotors with a controlled flap.

1. Animitsa V.A., Borisov E.A., Kritsky B.S., Mirgazov R.M. Analysis of computational and experimental studies on systems of individual control of helicopter propeller blades// Proceedings of MAI. – 2016. – No.85. – pp. 1-25.

2. Andreev G.T., Glushchenko G.N., Kutikhina N.V., Melnichuk Yu.P., Pavlenko O.V. Aerodynamic compensation of hinge moments of steering surfaces of aircraft with manual control. – M.: Innovative Engineering, 2017. - 363 p.

3. Mil M.L., Nekrasov A.V., Braverman A.S., Grodko L.N., Leykand M.A. Helicopters, calculation and design: in 2 volumes. – M.: Mechanical Engineering, 1966/1967. – (457+424) p.

Эффективность средств гидродинамического торможения при проведении высокоскоростных трековых испытаний

[1]Катаев А.В., [1]Астахов С.А., [2]Бирюков В.И.

[1]ФКП «ГкНИПАС имени Л.К.Сафронова», [2]МАИ, г. Москва, Россия

С ростом скоростных характеристик разрабатываемых образцов авиационной и ракетной техники растут требования к испытательному стендовому оборудованию, в том числе, к ракетно-рельсовым трекам [1]. Скоростной режим при трековых испытаниях обеспечивается не только средствами разгона, но и средствами торможения, позволяющими сохранять используемую материальную часть рельсовой каретки. Вследствие того, что трек имеет ограниченную длину, тормозные средства должны быть высокоэффективными [2].

Целью проводимых исследований является разработка новых средств торможения с увеличенным скоростным диапазоном применения относительно существующих, предназначенных для остановки объектов на ограниченной длине конечного участка ракетного трека.

Из ранее проведенных исследований определено, что для торможения высокоскоростных объектов целесообразно применять комбинированную схему торможения, предусматривающую применение конкретного вида эффективного торможения на приемлемой для него скорости [3]. Задача по торможению с применением комбинированной схемы делится на связанные части, в каждой из которых рассматривается вопрос об эффективности применения для каждого отдельного способа торможения.

Разработана методика по расчету специальной формы рабочей части гидродинамического тормозного устройства, которое позволит обеспечить эффективное и безопасное торможение ракетной каретки в широком скоростном диапазоне. Результаты расчета режима торможения ракетной каретки, движущейся со скоростью 500 м/с, показали, что применение тормозных устройств со специальной формой его рабочей части, вместо ранее используемой треугольной формы, позволяет снизить уровень максимальной нагрузки, воздействующей на тормозное устройство, на 36%, либо сократить тормозной путь на 31%. Повышение показателей эффективности достигнуто за счет обеспечения постоянной тормозной силы на значительной части тормозного пути.

Рассмотрены различные методы гидродинамического торможения приемлемые для использования как на монорельсовых, так и на двухрельсовых ракетных каретках [4].

В результате проведения дальнейших исследований необходимо решить проблему торможения объектов до полной остановки, движущихся в условиях ракетного трека на

скорости 1000 м/с и более, а также разработать новые методы математического моделирования работы применяемых тормозных устройств.

Литература:

1. Astakhov S.A., Biryukov V.I. Problems of ensuring the acceleration dynamics of aircraft during track test at a speed of 1600 m/s. INCAS BULLETIN, V.12, SI 2020.

2. Ватутин Н.М., Роберов И.Г., Тарновский В.А., Фурсов Ю.С. Развитие динамических испытаний на ракетном треке // Известия Российской акаде-мии ракетных и артиллерийских наук. 2021. № 1(116). С. 139-148.

3. Астахов С. А., Бирюков В. И., Катаев А. В. Оценка эффективности различных методов торможения сохраняемого оборудования на ограниченной длине при высокоскоростных трековых испытаниях изделий авиационной и ракетной техники // Вестник Московского авиационного института. 2022. Т. 29. № 2. С. 20-34.

4. Xia H., Hu B., Tian J., Lv S. Research on a new open water-brake method for double-track rocket sled test // 3rd International Conference on Mechanical, Electric and Industrial Engineering (23-25 May 2020; Kunming, China). Vol. 1633.

Efficiency of hydrodynamic braking means when conducting high-speed track tests

[1]Kataev A.V., [1]Astakhov S.A., [2]Biryukov V.I.

[1]NIPAS named after L.K.Safronov, [2]MAI, Moscow, Russia

The requirements for the test bench equipment, including rocket-rail tracks, grow (1) with the growth of the speed characteristics of aviation and rocket technology developed specimens [1]. The high-speed mode during track tests is provided not only by acceleration means, but also by braking means, allowing to preserve the used materiel of the rail sled. Due to the fact that the track has a limited length, the braking means must be highly efficient [2].

The purpose of the conducted research is to develop new means of braking with an increased speed range of application, designed to stop objects on a limited length of the rocket rail track final section.

It was determined from the previous studies that it is advisable to use a combined braking scheme for high-speed objects braking, which provides for the use of a specific type of the efficient braking at an acceptable speed for it [3]. The task of braking using a combined braking scheme is divided into related parts, each of which considers the question of the efficiency of application for each individual braking method.

A technique is developed for calculating a special configuration of the working part of the hydrodynamic braking device, which will ensure the efficient and safe braking of the rocket sled in a wide speed range. The calculation results of the braking mode of the rocket sled moving at a speed of 500 m/s showed that the use of braking devices with a special new shape of its working part, instead of the previously used triangular shape, allows to reduce the level of the maximum load acting on the braking device by 36 %, or to reduce the braking distance by 31 %. The increase in efficiency indicators was achieved by providing a constant braking force on a significant part of the braking distance.

Various methods of hydrodynamic braking acceptable for use on both monorail and two-rail rocket sleds have been examined [4].

While conducting the further research, it is necessary to solve the problem of braking to a full stop of objects moving in the conditions of a rocket track at a speed of 1000 m/s or more, as well as to develop new mathematical modeling methods of the applied braking devices operation.

References:

1. Astakhov S.A., Biryukov V.I. Problems of ensuring the acceleration dynamics of aircraft during track test at a speed of 1600 m/s. INCAS BULLETIN, V.12, SI 2020.

2. Vatutin N. M., Roberov I. G., Tarnovskii V. A., Fursov IU.S. [Development of dynamic tests on the rocket-rail track]. Izvestiia Rossiiskoi akademii raketnykh i artilleriiskikh nauk. 2021, No. 1 (116), P. 139-148.

3. Astakhov S. A., Biriukov V. I., Kataev A. V. [Effectiveness evaluation of various methods of the retainable equipment braking at a limited length while high-speed track tests of aircraft and rocket engineering products]. Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta. 2022, Vol. 29, No 2, P. 20-34.

4. Xia H., Hu B., Tian J., Lv S. Research on a new open water-brake method for double-track rocket sled test // 3rd International Conference on Mechanical, Electric and Industrial Engineering (23-25 May 2020; Kunming, China). Vol. 1633.

Прочность элементов конструкции из полимерных композиционных материалов с вырезами и отверстиями

Коваль С.М.
МАИ, г. Москва, Россия

В современном мире все большее значение приобретает рынок композитов и изделий из них. Для производства крупногабаритных сборных изделий применяют винтовые и заклепочные соединения, что вносит потери при реализации важнейших преимуществ полимерных композиционных материалов в прочности.

В данном докладе будут представлены современные методы определения предельного состояния композиционных материалов, метод расчета прочности композитной пластины эллиптического сечения под действием одноосных равномерно распределенных растягивающих напряжений, действующих на ее поверхности, а также определение предельного состояния пластина. Ортотропная пластина с эллиптическим поперечным сечением под действием сосредоточенных сил на ее поверхности. Критерии прочности или предельного состояния материала характеризуют начальные проявления процесса его разрушения, например, текучесть в зоне концентрации напряжений, предшествующих процессу разрушения, что наиболее актуально на этапе первичного (эскизного) проектирования. товары. В этой области можно выделить два основных научных подхода при расчете силы КМ: исследование с точки зрения макромеханики или с точки зрения микромеханики. При использовании первого метода степень разрушения определяется изменением макроповедения конструкций и возникает в результате потери устойчивости или исчерпания ее прочности. Во втором способе нарушается граница раздела волокно-матрица за счет разрушения структурных элементов. Я рассмотрю первый способ, так как он наиболее рациональный, с точки зрения инженерного понимания процесса разрушения на макро- и микроуровнях.

Литература:

1. Казаринов Ю.И. Прочность элементов конструкций с вырезами и повреждениями: монография // Тюмень: ТИУ. – 2017. – С. 94–95.

2. Алфутов, Н.А. Расчет многослойных пластин и оболочек из композиционных материалов [Текст] / Н.А. Алфутов, П.А. Зиновьев, В.Г. Попов. − М.: Машиностроение, 1984. – 264 с.

3. Дударев А.С. Исследование усадки просверленных отверстий в полимерных композиционных материалах // Изв. вузов. Машиностроение. – 2016. – № 8(677). – С. 77–87.

4. Раскутин А.Е., Хрульков А.В., Гирш Р.И. Технологические особенности механообработки композиционных материалов при изготовлении деталей конструкций (обзор) // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №9. Ст. 12.

Strength of structural elements made of polymer composite materials with cutouts and holes

Koval S.M.
MAI, Moscow, Russia

In the modern world, the market of composites and products from them is becoming increasingly important. For the production of large-sized prefabricated products, screw and rivet joints are used, which introduces losses in the implementation of the most important strength advantages of polymer composite materials.

This report will present modern methods for determining the limit state of composite materials, a method for calculating the strength of an elliptical composite plate under the action of uniaxial uniformly distributed tensile stresses acting on its surface, as well as determining the limit state of the plate. An orthotropic plate with an elliptical cross section under the action of concentrated forces on its surface. The criteria of strength or limit state of a material characterize the initial manifestations of the process of its destruction, for example, fluidity in the zone of stress concentration preceding

the process of destruction, which is most relevant at the stage of primary (sketch) design products. In this area, two main scientific approaches can be distinguished when calculating the CM force: research from the point of view of macromechanics or from the point of view of micromechanics. When using the first method, the degree of destruction is determined by a change in the macrobehavior of structures and occurs as a result of loss of stability or exhaustion of its strength. In the second method, the fiber-matrix interface is violated due to the destruction of structural elements. I will consider the first method, since it is the most rational, from the point of view of an engineering understanding of the destruction process at the macro and micro levels.

References:

1. Kazarinov Yu.I. Strength of structural elements with cuts and damage: monograph // Tyumen: TIU. - 2017. - S. 94–95.

2. Alfutov, N.A. Calculation of multilayer plates and shells from composite materials [Text] / N.A. Alfutov, P.A. Zinoviev, V.G. Popov. - M.: Mashinostroenie, 1984. - 264 p.

3. Dudarev A.S. Investigation of the shrinkage of drilled holes in polymer composite materials. Izv. universities. Engineering. - 2016. - No. 8 (677). – P. 77–87.

4. Raskutin A.E., Khrulkov A.V., Girsh R.I. Technological features of mechanical processing of composite materials in the manufacture of structural parts (review) // Proceedings of VIAM: electron. scientific and technical magazine 2016. No. 9. Art. 12.

Разработка регулятора, основанного на принципе обратной динамики, и идентификация модели продольного движения в режиме оффлайн

Корзун Ф.А., Ефремов А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящем докладе исследуется метод построения регулятора, основанного на принципе обратной динамики, и идентификация модели продольного движения сверхзвукового пассажирского самолета (СПС) по результатам измерений реакций нелинейной модели в режиме оффлайн. В работе рассматривалась задача посадки самолета в условиях воздействий атмосферных возмущений.

Были проведены экспериментальные исследования с помощью полунатурного моделирования на наземной рабочей станции. Путем использования универсального метода коэффициентов Фурье [1,2] были получены эквивалентные частотные характеристики СПС и определены ее параметры, используемые для построения регулятора.

Была сформирована математическая модель системы «ЛА + регулятор» и проведены экспериментальные исследования на пилотажном стенде с системой подвижности Полученные результаты исследований показали, что:

• Использование нелинейного префильтра уменьшает потребные скорости отклонения приводов со значений более ±150 град/сек до ±30 град/сек. При этом также уменьшается время выхода на ограничения с 20% до 1% от продолжительности эксперимента, что уменьшает тенденцию к раскачке самолета летчиком;

• Использование регулятора обратной динамики уменьшает среднеквадратическое отклонение (СКО) ошибки в 1.3 раза и уменьшает СКО расходов рычага управления в 2.6 раза. При этом частотная характеристика самолета приближается к интегрирующего звена $Wa \approx Ka/j\omega$;

• При введении в СУ СПС регулятора обратной динамики СКО при отслеживании глиссады в условиях атмосферной турбулентности уменьшилось на 34% по высоте, а по боковой координате – на 10%, по сравнению с СУ без регулятора;

• При этом уменьшаются СКО угловых координат (угол атаки, угол крена, угол тангажа и др.) более чем в 2 раза, а также существенно снижается загрузка летчика вследствие уменьшения расходов рычагов управления;

• При дополнительном использовании прогнозного дисплея вместе с фильтром обратной динамики точность отслеживания улучшилась в 11.2 раз и 13 раз по высоте и боковой координате соответственно.

Публикация подготовлена в рамках реализации Программы создания и развития научного центра мирового уровня «Сверхзвук» на 2020-2025 годы при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение от «16» ноября 2020 г. № 075-15-2020-924).

Литература:

1. Ефремов А.В., Тяглик М.С., «Разработка средств отображения информации для авиационной техники, обеспечивающих высокоточное пилотирование», журнал Полет №11, декабрь 2010

2. Ефремов А.В., Оглоблин А.В. Методическое обеспечение исследований пилотажных свойств самолетов на пилотажных стендах и тренажерах. М: Машиностроение, Полет № 5 2001

3. Ефремов А.В., Оглоблин А.В. и др. «Летчик как динамическая система», Москва, Машиностроение, 343 стр., 1992

Design of a controller based on the principle of inverse dynamics and identification of a model of longitudinal motion in offline mode

Korzun F.A., Efremov A.V.

MAI, Moscow, Russia

This report is dedicated to the design of a controller, based on the principle of inverse dynamics and offline identification of coefficients of supersonic passenger aircraft (SPA) linear longitudinal dynamic model based on the results of measurements of the nonlinear mathematical model responses. The landing task under the influence of atmospheric disturbances are considered in the research.

Experiments were performed using MAI ground based simulator. By using the unified method of Fourier coefficients [1,2], equivalent frequency characteristics of the SPA were obtained and their parameters were used for the controller design. Except it the prefilter for suppression of pilot induced oscillation (PIO) event was proposed as well.

A mathematical model of the "Aircraft + controller + prefilter" system was developed and experiments were performed on the moving base simulator. The obtained results showed that:

• The use of a non-linear prefilter reduces the required actuator deflection rates from more than ±150 deg/sec up to ±30 deg/sec. At the same time the duration during which the required rates are exceeded rate limiter reduced from 20% up to 1% dependency of the duration of trial. It reduces the tendency of PIO;

• The use of inverse dynamics controller reduces the root mean square (RMS) of error by a factor of 1.3 and reduced the pilot control output by a factor of 2.6, the aircraft frequency response characteristics approach to the integral $Wa \approx Ka/j\omega$;

• With the introduction of controller into the control system of SPA, the root mean square (RMS) when tracking the glide path in atmospheric turbulence conditions decreased by 34% in altitude, and by 10% in lateral coordinate, compared with the control system without the controller;

• At the same time, the angular coordinates (angle of attack, roll angle, pitch angle, etc.) were reduced by a factor of 2, and the pilot's workload is significantly reduced due to a reduction in the pilot control outputs;

• With the additional use of the prediction display combined with the inverse dynamics controller, the tracking accuracy improved by a factor of 11.2 and 13 in altitude and lateral coordinates, respectively.

The paper is prepared in the framework of the Program for the development of a world-class research center “Supersonic” in 2020-2025 founded by Russian Ministry of Science and Higher Education (Agreement 16 Nov 2020 № 075-15-2020-924).

References:

1. Efremov A.V., Tyaglik M.S., “Development of information display tools for aviation equipment, providing high-precision piloting”, Flight magazine No. 11, December 2010

2. Efremov A.V., Ogloblin A.V. Methodological support for research on the flight properties of aircraft on flight stands and simulators. M: Mechanical Engineering, Flight No. 5 2001

3. Efremov A.V., Ogloblin A.V. and others. "Pilot as a dynamic system", Moscow, Mashinostroenie, 343 pages, 1992

Реализация оптимального размерно-весового проекта с ограничениями по уточнённой теории устойчивости для конструктивно-анизотропных панелей летательных аппаратов из композиционных материалов

Корольский В.В., Турбин Н.В., Гавва Л.М.
МАИ, г. Москва, Россия

Авиастроительная промышленность требует снижения затрат на разработку и эксплуатацию авиационной техники в краткосрочной и долгосрочной перспективах. Снижение веса планера за счёт использования структурных резервов в композитных авиационных конструкциях способствует достижению данной цели. Необходимы точное и экспериментально подтверждённое моделирование напряжённо-деформированного состояния, прочности и устойчивости, рациональное и оптимальное проектирование реальных конструкций в реальных условиях нагружения. Новые расчётные модели в уточнённой постановке составляют основу процессов проектирования и оптимизации.

Цель исследования – разработка междисциплинарного подхода к оптимальному проектированию композитных конструктивно-анизотропных панелей несущих поверхностей летательных аппаратов (ЛА) с ограничениями в соответствии с уточненной теорией устойчивости для реализации оптимального размерно-весового проекта.

Сформулировано аналитическое решение задачи оптимального проектирования для определения геометрических параметров эксцентрично подкреплённых плоских прямоугольных композитных панелей ЛА минимальной массы. Задача оптимального проектирования сводится к исследованию целевой весовой функции как функции нескольких переменных на условный экстремум в строгой математической постановке с использованием аналитических методов в сочетании с численными алгоритмами.

Научной новизной новой математической модели для анализа потери устойчивости конструктивно-анизотропных композитных панелей является дальнейшее развитие теории тонкостенных упругих стержней, связанное с проблемой контакта обшивки и стрингера с учётом деформации сдвига ребра при закручивании.

Проблема потери устойчивости панелей сводится к решению краевых задач и задач на собственные значения для дифференциального уравнения в частных производных восьмого порядка в прямоугольной области, так как изгиб не отделяется от плоского напряженного состояния. В качестве расчетной модели предлагается схематизация панели как конструктивно-анизотропной, когда определяются критические силы общей изгибной формы потери устойчивости. Для исследования многоволновой крутильной формы потери устойчивости используется аппарат обобщенных функций с целью дискретного ввода жесткостей стрингеров. Решение дифференциального уравнения деформированной поверхности восьмого порядка в замкнутом виде построено в тригонометрических рядах.

Разработан пакет прикладных программ и реализован процесс оптимального проектирования конструктивно-анизотропных панелей из композиционных материалов, находящихся в условиях механического воздействия, приводящего к потере устойчивости. Представлены результаты численной реализации оптимального размерно-весового проекта для плоской прямоугольной панели из углепластика с несимметричной структурой многослойного пакета по толщине методом нелинейного программирования.

Implementation of the optimal size and weight project with constraints on the refined buckling theory for structurally anisotropic aircraft panels made of composite materials

Korolskii V.V., Turbin N.V., Gavva L.M.
MAI, Moscow, Russia

The aircraft industry requires a reduction in the cost of developing and operating aircraft both in the short and long term. Reducing the weight of the airframe due to the use of structural reserves in composite aircraft structures contributes to achieving this goal. However, accurate and experimentally confirmed analysis, modeling of the stress-strain state, strength and stability, rational and optimal design of real structures under real loading conditions are necessary. New computational models in a refined formulation form the basis of design and optimization processes.

The aim of the study is to develop an interdisciplinary approach to the optimal design of structurally anisotropic panels of aircraft bearing surfaces made of composite materials with limitations in accordance with the refined buckling theory for the implementation of an optimal dimensional and weight project.

An analytical solution to the optimal design problem is formulated to determine the geometric parameters of eccentrically reinforced flat rectangular composite panels with minimal mass. The optimal design problem is reduced to the study of the target weight function as a function of several variables for a conditional extremum in a strict mathematical formulation using analytical methods in combination with numerical methods.

The scientific novelty of the new mathematical model for buckling analysis of structurally anisotropic composite panels is the further development of the theory of thin-walled elastic rods associated with the problem of contact between the skin and the stringer, taking into account the shear deformation of the rib during twisting.

The problem of panel buckling is reduced to solving boundary value problems and eigenvalue problems for an eighth-order partial differential equation in a rectangular domain, since the bending is not separated from the plane stress state. As a computational model, the schematization of the panel as structurally anisotropic is proposed, when the critical forces of the general bending form of buckling are determined. To study the multi-wave torsional buckling of the panel, an apparatus of generalized functions is used for the purpose of discrete input of stringers' stiffness. The solution of the differential equation of the deformed surface of the eighth order in a closed form is made using trigonometric series.

The formulation of optimal panel design problems is formulated, numerical and analytical methods of solution are presented: the golden section method, the parabola method, the coordinate descent method, the penalty function method, linear and nonlinear programming methods.

A package of application programs has been developed and the process of optimal design of structurally anisotropic panels made of composite materials under conditions of mechanical stress leading to buckling has been implemented. The results of numerical implementation of the optimal size and weight design for a flat rectangular carbon fiber panel with an asymmetric structure of a multilayer package throughout thickness by the method of nonlinear programming are presented.

Анализ применимости аддитивных технологий при разработке сотовых конструкций аэродинамических поверхностей

Котович И.В., Ежов А.Д., Киселёв В.П.
МАИ, г. Москва, Россия

Одним из важнейших параметров при разработке любого вида устройств, механизмов, машин и т.д. является его эффективность. Данный параметр для летательных аппаратов зависит от множества факторов, но одним из главенствующих является его масса. Снижение массы летательного аппарата возможно различными способами, от перехода к использованию других материалов, до применения современных технологий изготовления.

Современным трендом при разработке того или иного устройства является применение аддитивных технологий. Преимущество указанной технологии заключается в возможности изготовления изделия любой формы, при этом обеспечивая монолитность и неразъемность конструкции. Не мало важным фактором, при выборе аддитивных технологий в качестве основной, является то, что конструкция при этой технологии имеет низкий удельный вес и при этом обладает высокой прочностью. С другой стороны, несмотря на все преимущества, у данной технологии имеются свои недостатки. В связи с тем, что процесс изготовления детали – это послойное наращивание и синтез объектов, то у них имеются проблемы, такие как образование пор, появление анизотропии механических и тепловых свойств, формирование остаточных напряжений.

Возможности аддитивных технологий, их разрешающая способность, объемы печати растут с каждым годом, а с ними появляются новые идеи и решения. Так, например, современные аэродинамические поверхности изготавливаются с применением сотового наполнителя с ячейкой постоянного шага. Изготовление подобного рода узла – процесс весьма трудоемкий

и ресурсо затратный. Авторами работы предлагается исследование применимости аддитивных технологий при разработке сотовых конструкций аэродинамических поверхностей с ячеистой структурой

1. Blakey-Milner B., Gradl P., Snedden G., Brooks M., Pitot J., Leary V/. Filippo B., bu Plessis A. Metal additive manufacturing in aerospace: A review // Materials s Design, Vol 209, 2021

2. Хаба Этьен, Тимирязев В.А. Использование аддитивных технологий для изготовления деталей машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 11. С. 136–144.

3. Токарев М.С. Тимирязев В.А. Леонов А.А., Алиханян А.А. Методы аддитивного производства заготовок из магнитных сплавов (обзор) // Труды ВИАМ, № 6 (100), 2021

4. Рогалёв А.Н., Шевченко М.И. Применение аддитивных лазерных технологий при проектировании охлаждаемых лопаток газовых турбин // Вестник ИГЭУ №3, 2016

5. Волосова М.А. Окуньков А.А. Пути оптимизации процесса селективного лазерного плавления при помощи выбора стратегии обработки лазерным лучом // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 14, №4(2), 2012, pp. 587-591

6. Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении. Пособие для инженеров. Москва ГНЦ РФ ФГУП "НИМА", 2015.

7. Караваев А.К. Пучков В.А. Исследование структуры и свойств сплава AlSi10Mg, полученного методом селективного лазерного сплавления // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение, № 5, 2020. С. 71-85.

8. Киселев В.П., Ежов А.Д., Селиверстов С.Д., Быков Л.В., Сотник Е.В. Анизотропия теплопроводности аддитивных металлов, полученных методом селективного лазерного сплавления на примере нержавеющей стали CL 20ES // Тепловые процессы в технике. 2021. Т. 13, № 7. С. 329-335.

Analysis of the applicability of additive technologies in the development of cellular structures of aerodynamic surfaces

Kotovich I.V., Ezhov A.D., Kiselev V.P.
MAI, Moscow, Russia

One of the most important parameters in the development of any kind of devices, mechanisms, machines, etc. is its effectiveness. This parameter for aircraft depends on many factors, but one of the most important is its mass. Reducing the weight of the aircraft is possible in various ways, from the transition to the use of other materials, to the use of modern manufacturing technologies.

The current trend in the development of a device is the use of additive technologies. The advantage of this technology lies in the possibility of manufacturing a product of any shape, while ensuring the solidity and inseparability of the structure. Not a little important factor when choosing additive technologies as the main one is that the design with this technology has a low specific gravity and at the same time has high strength. On the other hand, despite all the advantages, this technology has its drawbacks. Due to the fact that the manufacturing process of a part is a layered build-up and synthesis of objects, they have problems, such as the formation of pores, the appearance of anisotropy of mechanical and thermal properties, the formation of residual stresses.

The capabilities of additive technologies, their resolution, and print volumes are growing every year, and with them new ideas and solutions appear. For example, modern aerodynamic surfaces are manufactured using a honeycomb filler with a constant pitch cell. Manufacturing of such a node is a very time–consuming and resource-intensive process. The authors of the paper propose a study of the applicability of additive technologies in the development of cellular structures of aerodynamic surfaces with a cellular structure

Методический подход формирования технического облика силовых установок и функциональных систем перспективных винтокрылых летательных аппаратов

Кузнецов И.В., Пальченко Н.В.
НЦВ Миль и Камов, р.п. Томилино, Россия

Целью создаваемой методики является формирование рациональной структуры синтеза технического облика перспективных системы бортового оборудования ЛА (далее БО ЛА) и

составляющих её функциональных подсистем с учётом требований, предъявляемых со стороны ЛА.

Методика предназначена для решения следующих задач:

• Выбор оптимальной (с точки зрения финального изделия) схемы системы БО ЛА и её параметров в зависимости от возлагаемых функций;

• Оценка возможности достижения характеристик в рамках различных принципиальных схем агрегатов и подсистем БО ЛА, построенных на различных физических принципах функционирования;

• Определение удельных параметров и (при необходимости) абсолютных характеристик систем и агрегатов бортового оборудования в рамках единой системы БО ЛА.

Система бортового оборудования ЛА (БО ЛА) предназначена для обеспечения выполнения летательным аппаратом функциональных задач при обеспечении заданных уровней эффективности, безопасности и надежности за счёт выполнения следующих функций:

• Генерации всех видов энергии (электрической, механической, тепловой) на борту ЛА в полёте и на земле;

• Преобразования видов энергии в зависимости от целевой потребности на борту ЛА и их аккумуляция;

• Передачи потоков энергии от источников генерации к потребителям;

• Управления потоками энергии;

• Целевое использование энергии в оконечных устройствах.

Оптимальное сочетание технических характеристик и параметров элементов системы БО ЛА определяется в процессе формирования облика перспективного ЛА.

Обоснованным считается такой облик системы БО ЛА, который ведёт к максимизации целевой функции ЛА при выполнении разнородных транспортных задач. Либо, как вариант, максимизирует целевую функцию при жёстко заданных стоимостных ограничениях.

Methodical approach to the formation of the technical appearance of power plants and functional systems of promising rotary-wing aircraft

Kuznetsov I.V., Palchenko N.V.
NHC Mil&Kamov, Tomilino, Russia

The purpose of the created methodology is the formation of a rational structure for the synthesis of the technical appearance of a promising aircraft on-board equipment system (hereinafter referred to as BO LA) and its constituent functional subsystems, taking into account the requirements imposed by the aircraft.

The methodology is designed to solve the following tasks:

• Selection of the optimal (from the point of view of the final product) scheme of the control system and its parameters depending on the assigned functions;

• Assessment of the possibility of achieving the characteristics within the framework of various schematic diagrams of units and subsystems of the BO LA, built on various physical principles of functioning;

• Determination of specific parameters and (if necessary) absolute characteristics of systems and units of on-board equipment within the framework of a single system.

The aircraft avionics system (BO LA) is designed to ensure that the aircraft performs functional tasks while ensuring the specified levels of efficiency, safety and reliability by performing the following functions:

• Generation of all types of energy (electrical, mechanical, thermal) on board the aircraft in flight and on the ground;

• Conversion of energy types depending on the target demand on board the aircraft and their accumulation;

• Transmission of energy flows from generation sources to consumers;

• Energy flow management;

• Targeted use of energy in terminal devices.

The optimal combination of technical characteristics and parameters of the elements of the aircraft control system is determined in the process of forming the appearance of a promising aircraft.

It is considered reasonable to have such an appearance of the BO LA system, which leads to the maximization of the objective function of the LA when performing heterogeneous transport tasks. Alternatively, it maximizes the objective function under rigidly defined cost constraints.

Проектирование силового каркаса аэродинамического руля с использованием метода топологической оптимизации

Куприянова Я.А., Парафесь С.Г.
МАИ, г. Москва, Россия

В области проектирования силовых конструкций задача оптимизации всегда представляла особый интерес. Критерий минимума массы является основным критерием оптимальности на этапе предварительного (эскизного) проектирования элементов конструкций беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и используется на этапе выбора наилучшего проектного решения. Одним из возможных способов снижения массы БЛА является выбор конструктивно-силовой схемы, способной выдержать заданные нагрузки при минимальном количестве материала. Реализовать эту задачу возможно с помощью топологической оптимизации, которая в настоящее время применяется во многих сферах машиностроения, в том числе и в аэрокосмической отрасли [1].

В качестве объекта исследования выбран аэродинамической руль БЛА, состоящий из силового каркаса и обшивки. Традиционно силовые схемы несущих поверхностей представляют собой либо штампованные панели, либо наборные конструкции, включающие в свой состав лонжероны, нервюры, носок и законцовку, что не только усложняет сборку за счёт большого количества крепежных деталей, но и увеличивает массу. Синтез всех необходимых элементов в единый силовой каркас должен решить эту задачу.

В качестве метода оптимизации выбран метод штрафных функций для изотропного твёрдого тела (SIMP). Расчет ведется для руля, жестко закрепленного в одном узле и нагруженного распределенной нагрузкой. Рассмотрены различные случаи нагружения в зависимости от входных данных – угла атаки и коэффициента подъёмной силы. В качестве целевой функции оптимизации выбрана минимизация податливости. Область оптимизации представлена в виде анизотропной пластины.

В результате оптимизации получена схема силового каркаса, представленная в трехмерном виде. Для проверки на прочность к конструкции каркаса были добавлены обшивки постоянной толщины и сымитирована сварка по контуру каркаса.

Сравнительный анализ результатов расчета на прочность руля с оптимизированной силовой схемой и руля с наборной силовой схемой, показал превосходство оптимизированной конструкции с точки зрения массы и прочности, что подтвердило целесообразность использования топологической оптимизации при проектировании конструкций аэродинамических рулей.

1. Башин К.А., Торсунов Р.А., Семенов С.В. Методы топологической оптимизации конструкций, применяющиеся в аэрокосмической отрасли // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2017. №4 (51).

Design of the power frame of the aerodynamic rudder using the topological optimization method

Kupriyanova Y.A., Parafes' S.G.
MAI, Moscow, Russia

In the field of design of load-bearing structures, there is always a special interest. The maximum mass criterion is a consequence of the significance criterion in connection with the emergence of (sketch) design of structural elements of unmanned aerial vehicles (UAVs) and is used to solve the problem of choosing the best design solution. The UAV is the choice of a structural power scheme capable of withstanding given loads with a limited amount of material. It is possible to implement

this furniture with the help of topological optimization which is currently used in many areas of mechanical engineering, including the aerospace industry [1].

The UAV aerodynamic rudder, which consists of a power frame and skin, was chosen as the object of study. Traditionally, power circuits are not supposed to be either stamped panels or a set of structures that include spars, nerves, a leading edge and a tip, which only does not complicate the assembly due to the large number of fasteners, but also adds weight. The synthesis of all natural elements in the surrounding power structure should solve textures.

Was chosen the method Solid Isotropic Material with Penalization (SIMP). Calculation of accounting for a steering wheel rigidly fixed in one node and loaded with a distributed load. Various loading cases are possible depending on the input data - the gain and the lift coefficient. Compliance minimization is chosen as the optimal function. The area is represented as an anisotropic plate.

As a result, a power frame diagram presented in a three-dimensional form was obtained. To test the strength of the frame structure, stability skins were added and welding was simulated along the contour of the frame.

A comparative analysis showed the results of calculating the strength of a rudder with an optimized power circuit and a rudder with a set of power circuits, showed the superiority of the estimated design in terms of mass and strength, which increased the orientation of the use of topological design in the design of aerodynamic rudders.

1. Bashin K.A., Torsunov R.A., Semenov S.V. Topology optimization methods in aerospace industry // PNRPU Aerospace Engineering Bulletin. 2017. №4(51).

Расчётные исследования эффективности модификации корневой части щитка Крюгера для ламинарного крыла большого удлинения

Курилов В.Б., Сахарова А.И.
ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Ламинаризация обтекания – одна из наиболее перспективных технологий улучшения топливной эффективности самолётов следующих поколений. По оценкам различных авторов, использование систем управления ламинаризацией на магистральных самолётах может на 10-15% уменьшить сопротивление и, соответственно, улучшить их лётно-технические и экономические характеристики.

Важной задачей является разработка взлётно-посадочной механизации для ламинарных крыльев, особенно в части механизации передней кромки. Предкрылок, основной элемент механизации передней кромки большинства пассажирских самолётов, не подходит из-за требования гладкости поверхности обшивки, так как уступ за его задней кромкой немедленно приводит к турбулизации потока. Гладкость верхней поверхности крыла можно сохранить, если в качестве элемента механизации передней кромки применить щиток Крюгера. В отечественной практике опыт применения щитков Крюгера на крыльях пассажирских самолётов отсутствует.

В настоящей работе с помощью расчётных исследований рассмотрены эффекты некоторых модификаций корневой части щитка Крюгера на особенности обтекания и аэродинамические характеристики компоновки перспективного регионального самолёта с крылом с естественной ламинаризацией обтекания. Проведено сравнение эффективности данных модификаций с точки зрения несущих свойств компоновки и течения в корневой области крыла. Результаты данной расчётной работы будут использованы для дальнейших исследований в АДТ ЦАГИ с целью экспериментального определения положительных эффектов модификаций на взлётно-посадочные характеристики магистральных самолётов.

Computational studies of the modification effectiveness of a root area of the Krueger flap for a large extension laminar wing

Kurilov V.B., Sakharova A.I.
TsAGI, Zhukovsky, Russia

Flow laminarization is one of the most promising technologies for improving the fuel efficiency of next generation aircraft. According to various authors, the use of laminarization control systems on

mainline aircraft can reduce drag by 10-15% and, accordingly, improve their flight performance and economic characteristics.

An important objective is the development of high-lift devices of laminar wings, especially in terms of leading edge slats. The slat, the main of the leading edge device of most passenger aircraft, is not suitable due to the requirement of smoothness of the skin surface, since the ledge behind its trailing edge immediately leads to turbulence of the flow. The smoothness of the upper surface of the wing can be preserved if a Krueger flap is used as a leading edge device. In domestic practice, there is no experience of using Krueger flaps on the wings of passenger aircraft.

In this paper the effects of some modifications of the root part of the Krueger flap on the flow characteristics and aerodynamic performance of the layout of a promising regional aircraft with a natural flow laminarization wing are considered with the help of computational studies. The efficiency of these modifications is compared in terms of the aerodynamic performance of the layout and flow in the root region of the wing. The results of this computational studies will be used for further research at TsAGI wind tunnels in order to experimentally determine the positive effects of modifications on the take-off and landing characteristics of mainline aircraft.

Исследование влияния преднагруженного состояния конструкции планера ЛА при расчете на птицестойкость

Луценко Н.В., Мольков О.Р., Род О.А., Больших А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Частой причиной авиационных происшествий являются различные неполадки летательных аппаратов, например – столкновения с птицами. Следствием попадания птицы в летательный аппарат может стать, как и незначительное повреждение, с которым он сможет совершить посадку, так и аварийная ситуация. Согласно статистическим данным основная масса ударов птицами приходится на верхнюю поверхность отдаленных секций предкрылка. В соответствии с авиационными правилами самолет должен быть спроектирован таким образом, чтобы обеспечить возможность продолжения безопасного полета и посадки после столкновения с птицей.

В существующих исследованиях на тему птицестойкости уделяется крайне мало внимания состояниям конструкции до и после столкновения с птицей. Метод моделирования птицы, использованный в данной работе, валидировался на основе результатов стендовых испытаний и опубликованных математических расчетов.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа различных методик моделирования удара птицей в агрегаты ЛА, в одной из которых учитывалось преднагруженное состояние конструкции, а в другой удар птицы производился в ненагруженную конструкцию.

В ходе исследовательской работы было установлено четыре этапа проведения расчета:

• Статический расчет наиболее подверженных ударам птиц агрегатов при приложении расчетных нагрузок, для определения слабых зон агрегата ЛА;

• Статический расчет при приложении эксплуатационных нагрузок, для определения НДС эксплуатируемой конструкции;

• Динамический расчет дискретного удара птицы;

• Статический расчет при приложении 0.7 от эксплуатационных нагрузок для оценки остаточной прочности и живучести рассматриваемых конструкций.

В результате исследовательской работы было определено влияние преднагруженного состояния конструкции агрегата планера ЛА на птицестойкость и представлена методика моделирования удара птицы с предкрылком самолета при действии аэродинамических нагрузок.

Литература:

1. Фейгенбаум Ю.М. [и др.] Обеспечение прочности композитных авиационных конструкций с учетом случайных эксплуатационных ударных воздействий – М..: ТЕХНОСФЕРА, 2018.

2. Airoldi A and Cacchione B 2006 Modelling of impact forces and pressures in lagrangian bird strike analyses Int. Jour. of Imp. Eng. 32 1651-77.
3. Sun H., Godin D., Dong A. et al. Effect of Process Parameters on the Quality of Laminates made by Automated Fiber Placement (AFP) Using Out-Ofautoclave (OOA) Prepregs // 17th European Conference on Composite Materials. 2016. С. 1–12.

Effect of preloaded state of aircraft structure to simulation bird strike

Lutsenko N.V., Molkov O.V., Rod O.A., Bolshikh A.A.
MAI, Moscow, Russia

Often of cause aviation accidents is various malfunctions of aircraft, for example, impact with bird. The consequence of a bird strikes the aircraft may be, as well as minor damage, with which it will be able to land, and an emergency. According to statistics, the majority of bird strikes occur on the upper surface of slat sections. In accordance with aviation regulations, the aircraft must be designed in such a way that it is possible to continue safe flight and landing after a collision with a bird.

As a rule, existing researches of bird strike pays very little attention to the state of the structure before and after a collision with a bird. The bird modeling method used in this paper was validated based on the results of bench tests and published mathematical calculations.

The aim of this work is to conduct a comparative analysis of various methods for modeling a bird strike on aircraft units, one of which took into account the preloaded state of the structure, and the other one took a bird strike into an unloaded structure.

In the course of the research work, four stages of calculation were established:

• Static calculation of the units of aircraft most susceptible to bird impacts when applying design loads, to determine the weakest zones of the aircraft unit;

• Static calculation when applying maintenance loads, to determine the preloaded state of the operated structure;

• Dynamic calculation of discrete bird strike;

• Static calculation with an application of 0.7 of maintenance loads to assess the residual strength and survivability of the structures under consideration.

As a result of the research work, the effect of the preloaded state of the airframe assembly structure on bird strike was determined and a method for modeling the impact of a bird with an aircraft slat under the action of aerodynamic loads was presented.

References:

1. Feigenbaum Yu. M. [et al.] Ensuring the strength of composite aircraft structures taking into account random operational impact impacts-Moscow: TECHNOSPHERE, 2018.
2. Airoldi A and Cacchione B 2006 Modelling of impact forces and pressures in lagrangian bird strike analyses Int. Jour. of Imp. Eng. 32 1651-77.
3. Sun H., Godin D., Dong A. et al. Effect of Process Parameters on the Quality of Laminates made by Automated Fiber Placement (AFP) Using Out-Ofautoclave (OOA) Prepregs // 17th European Conference on Composite Materials. 2016. pp. 1-12.

Влияние геометрической компоновки несущего винта на его аэродинамические характеристики на режимах «вихревого кольца»

Макеев П.В., Игнаткин Ю.М.
МАИ, г. Москва, Россия

Геометрическая компоновка в значительной мере определяет аэродинамические характеристики несущего винта на различных режимах работы. При проектировании винта с заданным диаметром и заполнением возможны различные решения по его геометрической компоновке. Может быть использовано различное число лопастей, крутка лопасти, взаимное расположение лопастей (одиночный, соосный или Х-образный винт). Известно, что геометрическая компоновка оказывает существенное влияние на эффективность работы несущего винта на висении [1]. Для других режимов полета влияние геометрической компоновки на аэродинамические характеристики несущего винта так же представляет практический интерес. В работе рассмотрено влияние различных вариантов геометрической

компоновки несущего винта на его аэродинамические характеристики при вертикальном снижении в области режимов "вихревого кольца" в диапазоне скоростей Vy = 0-28 м/с. Для режимов «вихревого кольца» несущего винта характерно падение тяги винта по сравнению с висением и ее нестационарные пульсации, что делает режимы "вихревого кольца" небезопасными для вертолета. Широкомасштабные экспериментальные исследования режимов «вихревого кольца» затруднены, поэтому целесообразно применение современных расчетных методов. Представленные исследования выполнены на базе нелинейной лопастной вихревой модели винта, разработанной в МАИ [2]. Рассмотрены 2-х, 4-х и 6-х лопастные одиночные несущие винты, а также 6-лопастный соосный несущий винт, имевшие одинаковые заполнение, набор профилей и крутку лопасти. Также для 4-х лопастного несущего винта были рассмотрены значения крутки лопасти 0°, 8° и 16°. Расчеты выполнены при фиксированных углах установки лопастей, обеспечивающих равенство тяг всех несущих винтов на висении. Были получены и проанализированы суммарные и распределенные аэродинамические характеристики несущих винтов, включая формы вихревого следа и картины обтекания. Наименьшее снижение тяги на режимах "вихревого кольца" показал 2-лопастный несущий винт. Тяги эквивалентных 6-лопастных одиночного и соосного несущих винтов имеют близкие зависимости по скорости снижения, при этом амплитуда пульсаций тяги соосного несущего винта ниже, чем у одиночного. Для 4-лопастного несущего винта с ростом крутки лопастей увеличивается падение тяги и амплитуда ее пульсаций на режимах "вихревого кольца". Влияние крутки на аэродинамические характеристики несущего винта на режимах "вихревого кольца" хорошо согласуется с имеющимися экспериментальными данными [3]. Полученные результаты могут быть полезны при анализе аэродинамических характеристик несущих винтов на режимах «вихревого кольца».

1. Игнаткин Ю.М., Макеев П.В., Шомов А.И. Расчетное исследование влияния геометрической компоновки несущих винтов на КПД на режиме висения на базе нелинейной лопастной вихревой модели // Научный вестник МГТУ ГА. 2018;21(6):43-53.

2. Игнаткин Ю.М., Макеев П.В., Гревцов Б.С., Шомов А.И. Нелинейная лопастная вихревая теория винта и ее приложения для расчета аэродинамических характеристик несущих и рулевых винтов вертолета // Вестник МАИ. 2009. № 5. С. 24–31.

3. Castles J., Gray R.B. Empirical Relation between Induced Velocity, Trust, and Rate of Descent of a Helicopter Rotors as Determined by Wind-Tunnel Tests on Four Model Rotors // NACA Technical Note 2474; NACA: Washington, DC, USA, 1951.

The influence of geometric layout on the main rotor aerodynamic characteristics in the vortex ring state modes

Makeev P.V., Ignatkin Yu.M.
MAI, Moscow, Russia

The geometric layout significantly affects the aerodynamic characteristics of the helicopter main rotor in various operating modes. When designing a rotor with a given diameter and solidity, various geometry layout solutions are possible, for example, number of blades, blade twist, relative position of the blades (single, coaxial or scissors rotors). It is known that the geometry layout has a significant impact on the efficiency of the rotor in hover [1]. For other flight modes, the influence of geometry on the rotor aerodynamics is also of practical interest. The study considers the influence of various geometry layout on rotors aerodynamic characteristics with a vertical descent in the vortex ring state modes in the range of descent speeds Vy = 0-28 m/s. Vortex ring state modes are characterized by a drop in rotor thrust and unsteady thrust pulsations compared to hover. That makes the vortex ring state modes unsafe for the helicopter. Experimental parametric studies of vortex ring state modes are extremely difficult, therefore it is advisable to use modern computational methods. The presented study has been carried out on the basis of the free wake model developed at Moscow aviation institute [2]. Single rotors with 2, 4 and 6-blades, as well as 6-bladed coaxial rotor have been considered. All rotors had the same solidity, airfoils and blade twist. The blade twists of 0°, 8° and 16° were also considered for a 4-bladed rotor. The simulations have been performed at fixed blade pitch angles, providing the equal thrust in hover. The total and distributed aerodynamic characteristics have been

obtained and analyzed, including the shapes of the vortex wake and flow patterns. The smallest obtained thrust drop in vortex ring state modes has been shown by a 2-bladed rotor. The thrust of equivalent 6-bladed single main rotor and 6-bladed coaxial main rotor have similar dependences on the rate of descent, but the coaxial rotor has had lower values of the thrust pulsations amplitude. With growth of blade twist values, the thrust drop and thrust pulsations in vortex ring state modes have increased. The effect of the blade twist in the vortex ring state modes is in good agreement with the available experimental data [3]. So the results obtained can be useful in the analysis of rotor aerodynamics in vortex ring state modes.

1. Ignatkin, Yu. M.; Makeev, P.V.; Shomov, A.I. Calculated research of influence of helicopter main rotors geometry on the efficiency in hover mode based on the nonlinear vortex model. Civil Aviation High Technologies, 2018, 21. 43-53.

2. Ignatkin, Yu.M.; Makeev, P.V.; Grevtsov, B.S.; Shomov, A.I. A Nonlinear Blade Vortex Propeller Theory and Its Applications to Estimate Aerodynamic Characteristics for Helicopter Main Rotor and Anti-Torque Rotor. Vestnik MAI 2009, 16, 24–31. (In Russian)

3. Castles, J.; Gray, R.B. Empirical Relation between Induced Velocity, Trust, and Rate of Descent of a Helicopter Rotors as Determined by Wind-Tunnel Tests on Four Model Rotors; NACA Technical Note 2474; NACA: Washington, DC, USA, 1951.

Теоретический анализ переносимости декомпрессии на основе имитационной модели разгерметизации гермокабины воздушного судна

Матюшев Т.В., Дворников М.В., Рыбина А.С., Максимова И.Д., Малышев А.Д.
[1]МАИ, г. Москва, Россия

Для учета влияния высотных факторов на этапе проектирования воздушного судна необходима разработка и обоснование методики оценки влияния декомпрессии на организм человека, которая может применяться для широкого круга практических задач, связанных с герметизацией, регулированием параметров воздуха, наддувом и вентиляцией гермокабины. Актуальность данного исследования определяется потенциальными техническими возможностями математического моделирования при имитации высотных (стратосферных) полетов в штатных и аварийных условиях.

Методика была сформирована на основе комплексной имитационной модели газодинамических процессов, имеющих место в секционированных кабинах при разгерметизации. Для решения комплексной задачи разработки декомпрессионной имитационной модели при разгерметизации решались три взаимосвязанные и взаимообусловленные подзадачи: проведение анализа существующих подходов к декомпрессионному моделированию, формирование модели дыхательной системы, разработка декомпрессионной модели.

Были проведены вычислительные эксперименты, имитирующие декомпрессию при разгерметизации на высоте с учетом и без снижения и массовой подачи. В ходе этих экспериментов определялись скорости падения давления в кабине в зависимости от площади дефекта и необходимой подачи воздуха для компенсации этих утечек, остаточное избыточное давление, время декомпрессии, величины перепадов между секциями-отсеками и массового расхода при изменении давления; безопасная высота спуска и другие параметры.

На основе вычислительных экспериментов была разработана методика оценки переносимости декомпрессии человеком, учитывающая различные уровни переносимости воздействия. Предлагаемая методика, позволяет на стадии проектирования ВС произвести рациональный выбор герметических и газодинамических параметров кабины, а также летно-эксплуатационных характеристик с учетом возможной декомпрессии кабины в полете или, наоборот, при заданных параметрах и летных данных оценить степень опасности при разгерметизации и заранее предусмотреть комплекс средств по обеспечению безопасности.

Полученные результаты позволят в дальнейшем при эргономической экспертизе новых предлагаемых решений ориентироваться на физиологические уровни декомпрессионной переносимости.

Theoretical analysis of decompression tolerance based on a simulated depressurisation model of an aircraft's pressurised cabin

Matyushev T.V., Dvornikov M.V., Rybina A.S., Maximova I.D., Malyshev A.D.
MAI, Moscow, Russia

In order to take into account the effect of altitude factors at the stage of aircraft design, it is necessary to develop and substantiate a methodology to assess the effect of decompression on the human body, which can be applied to a wide range of practical tasks associated with pressurisation, regulation of air parameters, pressurisation and ventilation of the pressurised cabin. The relevance of this research is determined by the potential technical capabilities of mathematical modelling in simulating high-altitude (stratospheric) flights under standard and emergency conditions.

The methodology was formed based on a comprehensive simulation model of gas dynamic processes occurring in sectioned cabins during depressurisation. To solve the complex problem of developing a decompression simulation model for depressurisation, three interrelated and interdependent subtasks were solved: analysis of existing approaches to decompression modelling, formation of a breathing system model, development of a decompression model.

Computational experiments simulating decompression during depressurisation at altitude, with and without reduction and mass feed were performed. These experiments determined cabin pressure drop rates as a function of the defect area and the required air supply to compensate for these leaks, residual overpressure, decompression time, the magnitudes of the drop between compartment-sections and mass flow rate during pressure changes; safe descent altitude and other parameters.

Based on computational experiments, a human decompression tolerance assessment methodology was developed, taking into account different levels of exposure tolerance. The proposed methodology makes it possible, at the aircraft design stage, to make a rational choice of pressurised and gasdynamic cabin parameters, as well as flight and operational characteristics, taking into account possible cabin decompression in flight or, on the contrary, for given parameters and flight data, to assess the degree of danger of depressurisation and to provide a set of safety equipment in advance.

The results will enable future ergonomic assessments of new proposed solutions to be based on physiological levels of decompression tolerance.

Исследование технологических параметров автоматизированных методов выкладки препрегов при производстве деталей и агрегатов из ПКМ

Мелконян Р.В., Насонов Ф.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Высокие удельные характеристики прочности и жесткости позволили полимерным композиционным материалам (ПКМ) прочно закрепиться в авиапромышленности. Так, самолеты, сконструированные с широким применением ПКМ, обладают большей топливной эффективностью и позволяют экономить до 20% запаса топлива.

Производство деталей из ПКМ с использованием традиционных методов, таких как ручные методы формирования заготовок пакетов, все больше отходит на второй план. Развитие автоматизированных технологий определяет мировые тенденции в этом направлении, которые заключаются в замене традиционных, ручных методов формирования пакетов-заготовок автоматизированными методами выкладки.

Высокие требования к физико-механическим и прецизионным характеристикам образцов ускорили процесс автоматизации производства деталей конструкции самолета. На данный момент при выкладке однонаправленных препрегов применяются два метода: автоматизированная выкладка ленты Automated Tape Laying (ATL) и автоматизированная выкладка волокна Automated Fiber Placement (AFP).

Однако при изготовлении деталей данными методами с применением соответствующего оборудования необходимо учитывать влияние задаваемых значений технологических параметров выкладки, так как они непосредственно влияют на качество изготавливаемых образцов.

В проводимой работе определяются основные методы автоматизированной выкладки, был определен набор контрольных параметров, оказывающих наибольшее влияние на

механические свойства образцов, полученных с помощью методов автоматизированной выкладки препрега. Показано, что решающий вклад в механические характеристики изготовляемых деталей вносит давление прижима ленты, температура нагрева в общем случае определяется температурой плавления компонента полуфабриката, отвечающего за вспомогательное сцепление (фиксацию) слоев. В работе делаются предварительные выводы о типах проектируемых и изготавливаемых образцов, чтобы испытаниями подтвердить соответствующие зависимости.

Литература:

1. Sloan J. ATL and AFP: defining the megatrends in composite aerostructures //High performance composites. 2008. С. 20–25.

2. Мелконян, Р. В. Изучение конструктивно-технологических аспектов проектирования деталей и агрегатов из ПКМ, изготавливаемых с помощью средств автоматизированной выкладки // Гагаринские чтения - 2022 : Сборник тезисов работ международной молодёжной научной конференции XLVIII, Москва, 12–15 апреля 2022 года. – Москва: Издательство "Перо", 2022. – С. 36-37. – EDN RUXZJE.

3. Гусев Ю. А., Борщев А. В., Хрульков А. В. Особенности препрегов для автоматизированной выкладки методами ATL и AFP. // Труды ВИАМ. 2015. No 3. URL: http://www.viam-works.ru. DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-3-6-6.

4. Sun H., Godin D., Dong A. et al. Effect of Process Parameters on the Quality of Laminates made by Automated Fiber Placement (AFP) Using Out-Ofautoclave (OOA) Prepregs // 17th European Conference on Composite Materials. 2016. С. 1–12.

5. Pitchumani R., Gillespie Jr.J.W., Lamontia M.A. Design and optimization of a thermoplastic towplacement process with in-situ consolidation // Journal of Composite Materials. 1997. Vol. 31. Is. 3. С. 244–275.

6. Гаганов А.В., Караева О.А., Кудрин А.М., Дарнева Я.В. Математическое моделирование технологического процесса автоматизированной выкладки экспериментальных образцов полимерных композиционных материалов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2016. – Т. 12. – No 3. – С. 86-90. – EDN VZRVOV

Investigation of technological parameters of automated methods of laying out prepregs in the manufacturing of parts and assemblies from PCM

Melkonyan R.V., Nasonov F.A.

MAI, Moscow, Russia

High specific characteristics of strength and rigidity allowed polymer composite materials (PCM) to gain a firm foothold in the aviation industry. Thus, aircraft designed with a wide use of PCM have greater fuel efficiency and allow you to save up to 20% of the fuel reserve.

The production of parts from PCM using traditional methods, such as manual methods of forming blanks of packages, is increasingly fading into the background. The development of automated technologies determines global trends in this direction, which consist in replacing traditional, manual methods of forming packages-blanks with automated methods of laying out.

High requirements for the physical-mechanical and precision characteristics of the samples accelerated the process of automating the production of parts of the aircraft structure. Now, when laying out unidirectional prepregs, two methods are used: Automated Tape Laying (ATL) and Automated Fiber Placement (AFP).

However, when manufacturing parts by these methods with the use of appropriate equipment, it is necessary to take into account the influence of the set values of the technological parameters of the layout, since they directly affect the quality of the samples being manufactured.

In the work carried out, the main methods of automated layout are determined, a set of control parameters that have the greatest impact on the mechanical properties of samples obtained using automated prepreg layout methods has been determined. It is shown that the decisive contribution to the mechanical characteristics of the manufactured parts is made by the pressure of the belt, the heating temperature is generally determined by the melting point of the component of the semi-finished product responsible for the auxiliary coupling (fixation) of the layers. The paper draws

preliminary conclusions about the types of designed and manufactured samples in order to confirm the corresponding dependencies by tests.

References:

1. Sloan J. ATL and AFP: defining the megatrends in composite aerostructures //High performance composites. 2008. P. 20–25.

2. Melkonyan R. V. The investigation of structural and technological aspects of the design of parts and assemblies made of PCM manufactured using automated layout tools // Gagarin Readings - 2022 : Collection of abstracts of the International Youth Scientific Conference XLVIII, Moscow, April 12-15, 2022. – Moscow: Pero Publishing House, 2022. – pp. 36-37. – EDN RUXZJE.

3. Gusev Yu. A., Borshchev A.V., Khrulkov A.V. Features of prepregs for automated layout by ATL and AFP methods. // Proceedings of VIAM. 2015. No. 3. URL: http://www.viam-works.ru DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-3-6-6.

4. Sun H., Godin D., Dong A. et al. Effect of Process Parameters on the Quality of Laminates made by Automated Fiber Placement (AFP) Using Out-Ofautoclave (OOA) Prepregs // 17th European Conference on Composite Materials. 2016. p. 1–12.

5. Pitchumani R., Gillespie Jr.J.W., Lamontia M.A. Design and optimization of a thermoplastic towplacement process with in-situ consolidation // Journal of Composite Materials. 1997. Vol. 31.Is. 3. C. 244–275.

6. Gaganov A.V., Karaeva O.A., Kudrin A.M., Darneva Ya.V. Mathematical modeling of technological process of automated calculation of experimental samples of polymer composite materials. // VSTU journal. 2016.

Проектирование сжатых жестких ортотропных панелей кессона крыла при закритическом состоянии

Митрофанов О.В.
МАИ, г. Москва, Россия

При расчетах несущей способности панелей авиационных конструкций при различных габаритных размерах и толщин обшивок, как правило, используют классификацию, предложенную А.С. Вольмиром [1]. В этом случае при исследовании закритического поведения тонких обшивок самолетов малой авиации рассматривают гипотезы и соотношения применимые для тонких гибких панелей. В этом случае при исследовании несущей способности при нагрузках выше эксплуатационного уровня, как правило, допускают потерю устойчивости и при расчетах, учитывают мембранные напряжения. В другом крайнем случае – при создании самолетов большой грузоподъемности, в соответствии с монографией [1], на ранних этапах проектирования при исследовании несущей способности при нагрузках близких к расчетному уровню и допустимости геометрически нелинейного поведения целесообразно рассматривать толстые обшивки и учитывать только изгибные напряжения пренебрегая мембранными напряжениями.

В данной работе предложена методика определения толщин ортотропных толстых панелей при возможности геометрически нелинейного поведения при нагрузках близких к расчетному уровню. В методике используются гипотезы, применимые для жестких панелей и учитываются изгибные компоненты напряжений. Методика в этом случае соответствует методологии проектирования композитных панелей по закритическому состоянию [2]. На основе аналитических решений геометрически нелинейных задач, полученных методом Бубнова – Галеркина, в работе предложены соотношения для определения оптимальных толщин для жестких прямоугольных ортотропных панелей при сжатии и сдвиге с учетом применения различных критериев прочности. Практическая значимость работы заключается в том, что указанные панели могут являться несущими обшивками самолетов большой грузоподъемности.

Литература:

1. Вольмир А.С. Гибкие пластины и оболочки. – М.: ГОСТЕХИЗДАТ, 1956. –419 с.

2. Митрофанов О.В. Проектирование несущих панелей авиационных конструкций по закритическому состоянию. – М.: МАИ (НИУ), 2020. – 160 с. – ISBN 978-5-4316-0757-8.

Design of compressed rigid orthotropic panels of the wing caisson in the post-buckling behavior

Mitrofanov O.V.
MAI, Moscow, Russia

When calculating the bearing capacity of panels of aircraft structures for various overall dimensions and thicknesses of skins, as a rule, the classification proposed by A.S. Volmir [1]. In this case, when studying the postbuckling behavior of thin skins of small aircraft, hypotheses and relations applicable to thin flexible panels are considered. In this case, when studying the bearing capacity at loads above the operational level, as a rule, buckling is allowed and membrane stresses are considered in the calculations. In the other extreme case – when creating heavy-duty aircraft, by the monograph [1], at the early design stages, when studying the bearing capacity at loads close to the design level and the admissibility of geometrically nonlinear behavior, it is advisable to consider thick skins and consider only bending stresses, neglecting membrane stresses.

This paper proposes a method for determining the thicknesses of orthotropic thick panels with the possibility of geometrically nonlinear behavior under loads close to the design level. The methodology uses hypotheses applicable to rigid panels and considers the flexural stress components. The technique corresponds to the methodology for designing composite panels in the postbuckling behavior [2]. Based on analytical solutions of geometrically nonlinear problems obtained by the Bubnov-Galerkin method, the paper proposes relationships for determining the optimal thicknesses for rigid rectangular orthotropic panels in compression and shear, considering the application of various strength criteria. The practical significance of the work lies in the fact that these panels can be the load-bearing skins of heavy-duty aircraft.

References:

1. Volmir A.S. Flexible plates and shells. – M.: GOSTEKHIZDAT, 1956. –419 p.

2. Mitrofanov O.V. Design of load-bearing panels of aircraft structures in the postbuckling behavior. – M.: MAI (NRU), 2020. – 160 p. – ISBN 978-5-4316-0757-8.

Расчет и проектирование ортотропных панелей по закритическому состоянию с учетом влияния упругого основания

Митрофанов О.В.
МАИ, г. Москва, Россия

При расчетах устойчивости и несущей способности панелей крыла воздушно – космического самолета необходимо учитывать наличие теплозащитного покрытия, которое выполняет функции упругого основания (УО) для обшивки. Предметом исследования данной работы являются тонкие ортотропные прямоугольные панели (ОПП) при наличии УО, которое не воспринимает действующие на панель сжимающие и касательные потоки. Целью работы является исследование напряженно – деформированного состояния ОПП с УО при геометрически нелинейном поведении при нагрузках близких к расчетному уровню, который, как правило, реализуется при натурных статических испытаниях для экспериментального обоснования прочности. Также в данной работе предложены методики определения толщин ОПП на УО, основанные на методологии проектирования по закритическому состоянию [1]. В этом случае использованы аналитические решения геометрически нелинейных задач, выполненные методом Бубнова – Галеркина. При расчетном уровне нагружения рассмотрены следующие критерии для определения оптимальных толщин панелей. Во - первых, достижение предельных по статической прочности мембранных напряжений, возникающих при закритическом состоянии. Во – вторых, достижения возможных предельных поперечных прогибов композитной обшивки при геометрически нелинейном поведении на расчетном уровне нагружения сжимающими усилиями. В этом случае оптимальные толщины ОПП определяется при выборе максимальных значений из двух указанных вариантов. Также для оценки уровня нагружения, при котором может возникнуть потеря устойчивости ОПП с УО, в работе приведены решения линейных задач устойчивости. Предложенные методики могут быть использованы на ранних этапах проектирования при выборе конструктивно-технологических решений.

Литература:
1. Митрофанов О.В. Проектирование несущих панелей авиационных конструкций по закритическому состоянию. – М.: МАИ (НИУ), 2020. – 160 с. – ISBN 978-5-4316-0757-8.

Calculation and design of orthotropic panels under postbuckling behavior taking into account the influence of the elastic base

Mitrofanov O.V.
MAI, Moscow, Russia

When calculating the stability and load-bearing capacity of the wing panels of an aerospace aircraft, it is necessary to consider the presence of a heat-shielding coating that acts as an elastic base (EB) for the skin. The subject of research in this work is thin orthotropic rectangular panels (ORP) in the presence of EB, which does not perceive the compressive and tangential flows acting on the panel. The work aims to study the stress-strain state of the ORP with EB under geometrically nonlinear behavior under loads close to the calculated level, which, as a rule, is implemented in full-scale static tests for experimental justification of strength. Also, in this paper, methods for determining the thicknesses of the ORP on the EB, based on the design methodology for the postbuckling behavior, are proposed [1]. In this case, analytical solutions of geometrically nonlinear problems were used, performed by the Bubnov-Galerkin method. At the design level of loading, the following criteria are considered to determine the optimal thickness of the panels. Firstly, the achievement of the limiting static strength of the membrane stresses arising in the postbuckling behavior. Secondly, the achievement of possible limiting transverse deflections of the composite skin with geometrically nonlinear behavior at the calculated level of loading by compressive forces. In this case, the optimal thickness of the ORP is determined by choosing the maximum values from the two indicated options. Also, to assess the level of loading at which a loss of stability of the ORP with EB may occur, the paper presents solutions to linear stability problems. The proposed methods can be used at the early stages of design when choosing structural and technological solutions.

References:
1. Mitrofanov O.V. Design of load-bearing panels of aircraft structures under postbuckling behavior. – M.: MAI (NRU), 2020. – 160 p. – ISBN 978-5-4316-0757-8.

Сравнительное исследование аэродинамических характеристик двухрядного несущего винта на режиме висения на базе вихревой модели и метода URANS

Никитин С.О., Игнаткин Ю.М., Макеев П.В., Константинов С.Г.
МАИ, г. Москва, Россия

Работа посвящена расчету аэродинамики двухрядного несущего винта вертолета на режиме висения. Моделирование работы несущего винта выполнено с применением двух подходов вычислительной гидродинамики CFD (computational fluid dynamics): разработанной авторами нелинейной вихревой модели и метода URANS (Unsteady Reynolds-averaged Navier Stokes equations) на базе пакета расчетных программ Ansys Fluent. В результате работы получены и проанализированы: структура вихревого следа за несущим винтом, картины линий тока, поля завихренности, поля индуктивных скоростей, так же получены суммарные и распределенные аэродинамические характеристики моделируемых несущих винтов с учетом разноса конструктивных плоскостей вращения лопастей. Построены поляры несущих винтов и зависимость относительного коэффициента полезного действия от величины коэффициента тяги, отнесенного к характеристике заполнения несущего винта. Проведено сопоставление результатов расчетов, полученных как по нелинейной вихревой модели, так и методом URANS. Проведено сравнение полученных результатов с известными данными расчетов, проведенных другими авторами. Показано удовлетворительное совпадение данных, подтверждающее достоверность применяемых моделей. Прирост КПД у двухрядного несущего винта при разносе КПВ равном 0.2R достигает 5% по сравнению с одиночным НВ. Проанализированы основные особенности и возможности практического применения рассмотренных подходов для решения различных задач аэродинамики несущего винта.

Сделан вывод о целесообразности совместного применения рассмотренных методов при решении комплексных задач аэродинамики несущего винта.

Литература:

1. Гарипова Л.И. «Распределение интегральных характеристик обтекания несущего винта вертолета и оценка колебаний поля давления в ближней и дальней зонах». Диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук. Казань 2017.

2. Игнаткин Ю.М. и др. «Нелинейная лопастная вихревая теория винта и ее приложения для расчета аэродинамических характеристик несущих и рулевых винтов вертолета». Вестник МАИ. 2009. № 5.

Comparative study of the aerodynamic characteristics of a two-row main rotor in the hover mode based on the vortex model and the URANS method

Nikitin S.O., Ignatkin Yu.M., Makeev P.V., Konstantinov S.G.
MAI, Moscow, Russia

The work is dedicated to the calculation of the aerodynamics of a two-row main rotor of a helicopter in hovering mode. Modeling of the main rotor operation was performed using two approaches of computational fluid dynamics CFD (computational fluid dynamics): the nonlinear vortex model developed by the authors and the URANS method (Unsteady Reynolds-averaged Navier Stokes equations) based on the Ansys Fluent calculation software package. As a result of the work has obtained and analyzed the structure of the vortex wake behind the main rotor, patterns of current lines, vorticity fields, fields of inductive velocities, as well as the total and distributed aerodynamic characteristics of the simulated main propellers, taking into account the spacing of the structural planes of rotation of the blades. The polar bearings of the main propellers and the dependence of the relative efficiency on the magnitude of the thrust coefficient related to the filling characteristic of the main rotor are constructed. The results of calculations obtained both by the nonlinear vortex model and by the URANS method are compared. The obtained results are compared with the known data of calculations carried out by other authors. A satisfactory coincidence of the data is shown, confirming the reliability of the models used. The increase in efficiency of a two-row main rotor with a CPV spacing equal to 0.2R reaches 5% compared to a single NV. The main features and possibilities of practical application of the considered approaches for solving various problems of rotor aerodynamics are analyzed. The conclusion is made about the expediency of joint application of the considered methods in solving complex problems of rotor aerodynamics.

Методика подбора материалов и рациональных параметров составного пояса лонжерона

[1]Панкратьев С.М., [1]Попов Ю.И., [1]Печенюк В.С., [2]Катаев О.О.
[1]МАИ, [2]ПАО Туполев, г. Москва, Россия

Сегодня производство по-настоящему востребованного конкурентоспособного продукта в авиационной промышленности немыслимо без проектно-конструкторских исследований [1].

Составными называются конструкции, выполненные элементами из разных материалов. Это может быть пояс лонжерона из металла с добавлением к нему стрингерной панели из композиционного материала (КМ) [2].

В данной работе рассмотрен нижний пояс составного лонжерона, работающий на растяжение. Принимаем, что погонная нагрузка распределена по ширине пояса лонжерона и равняется действующим нагрузкам элементов составного пояса. Основным параметром подбора составной конструкции является толщина добавляемого материала [3].

В данной работе рассматривается два расчетно-проектировочных варианта конструкции:

• Вариант I (металл + КМ). Считаем, что вначале спроектирован пояс лонжерона, выполненный из металла, для которого определена высота. Затем, для повышения несущей способности, присоединяется элемент из КМ варьируемой толщины;

• Вариант II (КМ + металл). В начале проектируется пояс лонжерона, выполненный из КМ, для которого определена высота. Затем присоединяется элемент из металла варьируемой толщины.

Критерием выбора оптимального материала и рациональных параметров добавляемого элемента является величина запаса прочности элементов вновь полученной составной конструкции и их эксплуатационная живучесть [4].

В работе определены характеристики рассматриваемых металлов и КМ, приводится пример расчета напряженно деформированное состояние (НДС) составного пояса при различных материалах и толщин добавляемого элемента. Для расчета НДС используется метод совместных деформаций. Анализ полученных результатов показывает, что величина коэффициента запаса прочности исходного элемента повышается, а добавленного элемента при различных вариантах может быть меньше единицы, что не допустимо. Поэтому необходимо определить либо оптимальную толщину добавляемого элемента, либо определить запас прочности при рациональной толщине.

В работе получены аналитические и графические зависимости, которые позволяют определить оптимальные и рациональные параметры элементов составного пояса при реальных характеристиках материала и конструкции.

Литература:

1. Цифровые технологии в жизненном цикле Российской конкурентоспособной авиационной техники / А. Г. Братухин, С. А. Серебрянский, Д. Ю. Стрелец [и др.]. – Москва : Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020. – 448 с. – ISBN 978-5-4316-0694-6. – EDN ZGQVGN.

2. Ю.И. Попов, Г.Н. Кравченко, В.В. Казанцев “ Оценка несущей способности составной конструкции самолета из металла и композита”„ журнал «Полет», № 3, 2020.

3. В.И. Костров, Туркин И.К. Расчет элементов деформируемых конструкций: Учебное пособие.- М.: Изд-во МАИ, 2002.

4. Попов, Ю. И. К вопросу обеспечения эксплуатационной живучести конструкции планера самолета / Ю. И. Попов, С. А. Серебрянский, М. В. Майсак // Справочник. Инженерный журнал. – 2019. – № 12(273). – С. 32-39. – EDN PJOIAQ.

Method of selection of materials and rational parameters of the composite belt of the spar

[1]Pankratev S.M., [1]Popov Yu.I., [1]Pechenyuk V.S., [2]Kataev O.O.

[1]MAI, [2]PJSC Tupolev, Moscow, Russia

Today, the production of a truly in-demand competitive product in the aviation industry is unthinkable without design research [1].

Composite structures are structures made of elements made of different materials. This may be a spar belt made of metal with the addition of a stringer panel made of composite material (CM) [2].

In this paper, the lower belt of a composite spar, working on stretching, is considered. We assume that the linear load is distributed over the width of the spar belt and is equal to the effective loads of the elements of the composite belt. The main parameter for the selection of a composite structure is the thickness of the added material [3].

In this paper, two design and design variants of the design are considered:

• Option I (metal + CM). We believe that the belt of the spar was designed first, made of metal, for which the height is determined. Then, to increase the load-bearing capacity, an element of CM of varying thickness is attached;

• Option II (CM + metal). At the beginning, a spar belt is designed, made of CM, for which the height is determined. Then an element of metal of varying thickness is attached.

The criterion for choosing the optimal material and rational parameters of the added element is the value of the safety margin of the elements of the newly obtained composite structure and their operational survivability [4].

The paper defines the characteristics of the metals and CM under consideration, provides an example of calculating the stress-strain state (SSS) of a composite belt with different materials and thicknesses of the element being added. The method of joint deformations is used to calculate SSS. The analysis of the obtained results shows that the value of the safety factor of the initial element increases, and the added element may be less than one in various variants, which is not permissible.

Therefore, it is necessary to determine either the optimal thickness of the element to be added, or to determine the margin of safety at a rational thickness.

Analytical and graphical dependences are obtained in the work, which make it possible to determine the optimal and rational parameters of the elements of a composite belt with real characteristics of the material and.

References:

1. Bratukhin A. G., Serebryansky S. A., Strelets D. Yu. Digital technologies in the life cycle of Russian competitive aviation technology [and others]. - Moscow: Moscow Aviation Institute (National Research University), 2020. - 448 p. – ISBN 978-5-4316-0694-6. – EDN ZGQVGN.

2. Yu.I. Popov, G.N. Kravchenko, V.V. Kazantsev "Assessment of the bearing capacity of a composite aircraft structure made of metal and composite", Polet magazine, No. 3, 2020.

3. V.I. Kostrov, Turkin I.K. Calculation of elements of deformable structures: Textbook.- M.: Publishing House of MAI, 2002.

4. Popov, Yu. I. On the issue of ensuring the operational survivability of the airframe structure / Yu. I. Popov, S. A. Serebryansky, M. V. Maysak // Handbook. Engineering Journal. - 2019. - No. 12 (273). - S. 32-39. – EDN PJOIAQ.

Применение интегральных композитных конструкций в планере самолета

[1]Пашков В.С., [1]Попов Ю.И., [2]Русанова О.В.

[1]МАИ, [2]ПАО «Ил», г. Москва, Россия

В XXI веке в авиационной технике сокращается удельный вес металлических изделий и растет объем конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ). Это происходит за счет ряда преимуществ. Основными преимуществами конструкций из таких материалов являются повышенная долговечность, усталостная прочность, высокие показатели сопротивления усталости, стойкости к вибро- и акустическим нагрузкам. Обладают высокой коррозионной стойкостью и эксплуатационной живучестью и технологичностью. Использование материалов с более высокими удельными механическими свойствами серьезно влияет на весовое совершенство конструкции на этапах жизненного цикла. В наше время степень интегральности конструкции так же важна, как удельная несущая способность. Интегральным можно назвать изделие, полученное объединением конструктивных элементов разной конфигурации и функционального назначения в цельный объект, не содержащий стыков. Понятие «интегральный», очевидно, является синонимом понятия «монолитный». Однако слово «монолитный» традиционно отождествляется с массивной конструкцией, у которой все фрагменты имеют один порядок измерения. Само понятие «степень интегральности» весьма условно, так как сейчас не существует чёткой методики её оценки в количественном выражении. Вопросы связанные с проектированием, производством и эксплуатацией подобных изделий должны решаться комплексно на основе конструктивных решений, технологических возможностей, а так же данных, полученных в результате прочностных расчетов.

В данной работе были смоделированы и рассчитаны панели из металлический материалов и из композиционных. При чем композиционная панель выполнена в интегральном виде, то есть в виде единой детали, а не сборочной единицы. Рассмотрены технологические особенности интегральных композитных конструкций, а так же положительные и отрицательные стороны применения подобных конструкций.

Usage of integral composite structures in the airframe of an aircraft

[1]Pashkov V.S., [1]Popov Yu.I., [2]Rusanova O.V.

[1]MAI, [2]JSC Il, Moscow, Russia

In the XXI century, the proportion of metal products in aviation technology is decreasing and the volume of structures made of polymer composite materials (PCM) is growing. This is due to a number of advantages. The main advantages of structures made of such materials are increased durability, fatigue strength, high fatigue resistance, resistance to vibration and acoustic loads. They have high corrosion resistance and operational survivability and manufacturability. The use of materials with

higher specific mechanical properties seriously affects the weight perfection of the design at the stages of the life cycle. Nowadays, the degree of integrality of the structure is as important as the specific load-bearing capacity. An integral product can be called a product obtained by combining structural elements of different configurations and functional purposes into a solid object that does not contain joints. The concept of "integral" is obviously synonymous with the concept of "monolithic". However, the word "monolithic" is traditionally identified with a massive structure in which all fragments have the same order of measurement. The very concept of "degree of integrality" is very conditional, since there is currently no clear methodology for its evaluation in quantitative terms. Issues related to the design, production and operation of such products should be solved comprehensively on the basis of design solutions, technological capabilities, as well as data obtained as a result of strength calculations. In this work, panels made of metallic and composite materials were modeled and calculated. Moreover, the composite panel is made in an integral form, that is, in the form of a single part, and not an assembly unit. The technological features of integral composite structures, as well as the positive and negative aspects of the use of such structures, are considered.

Возможности создания композитных конструкций авиационного назначения с использованием встроенных элементов из материалов с памятью формы в целях решения задач возникновения резонансных явлений

Пермяков А.П., Насонов Ф.А.
МАИ, г. Москва, Россия

С развитием научно-технического прогресса на сегодняшний день идея создания сверхзвуковых самолётов до сих пор остаётся актуальной. Однако ввиду повышенной вероятности возникновения резонанса в элементах конструкции воздушного судна одной из трудностей является разработка конструкций, способных выдерживать вибрационные нагрузки [1-3]. Решением этой проблемы может послужить применение различных методик: отстройка собственных частот конструкции изменением площадей сечений элементов, использованием материалов с другими жесткостными характеристиками, применением конструктивных решений, уменьшающих концентрации напряжений, качественным выполнением деталей с минимальным разбросом размеров и рабочих параметров и т.д. Наиболее же перспективным методом является использование демпфирующих конструкций [4,5].

Благодаря высокой удельной жесткости и прочности доля элементов конструкции планера из полимерных композиционных материалов (ПКМ) в воздушных суднах растёт с каждым днём. В связи с более высокой по сравнению с металлами и сплавами демпфирующей способности, ПКМ более предпочтительны в качестве материалов сильно- и средненагруженных конструкций сверхзвуковой авиации. Более того, отстройку резонанса конструкций из ПКМ можно проводить с использованием дополнительных армирующих нитей из сплавов с эффектом памяти формы. Для эпоксиуглепластиковых ПКМ с повышением температуры первая собственная частота понижается. При дополнительном армировании нитиноловыми нитями такие ПКМ первая частота, наоборот, повышается, причём более резко, что может значительно упростить процесс отстройки от резонанса [6].

В данной работе рассмотрены проблемы производства и проектирования авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов, дополнительно армированных нитями из сплавов с эффектом памяти формы.

Литература:

1. Мокраусов, М. Н. Летчик-испытатель Марк Галлай и исследования в области авиационной техники // Аллея науки. – 2022. – Т. 1. – № 2(65). – С. 180-183. – EDN CBBQSD.

2. Пенчученко, В. В. Табарчя Д. Л. Летные флаттерные испытания как составная часть оценки прочности конструкции летательного аппарата // Межвузовский сборник научных трудов: Сборник статей. Том Выпуск 24. – Краснодар: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова» Министерства обороны Российской Федерации, 2020. – С. 15-18. – EDN OLAMAA.

3. Дмитриев В. Г., Клюкин Н. Г., Мамедов О. С., Поповский В. Н. Имитационное моделирование летных испытаний самолетов на флаттер // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. – 2021. – № 5. – С. 23-33. – EDN FRAGUY.

4. Морозов, В. И. Аэродинамические способы управления колебаниями элементов конструкций / В. И. Морозов, В. В. Овчинников // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. – 2006. – № 3. – С. 180-192. – EDN HTXTFV.

5. Частотная отстройка элементов конструкции планера воздушного судна / Р. В. Федоров, С. А. Серебрянский // Инженерный журнал: наука и инновации. - 2021. - № 1(109). - С. 5.

6. Rogers, C.A., Liang, C. and Fuller, C.R. 1991. “Modeling of Shape Memory Alloy Hybrid Composites for Structural Acoustic Control,” Journal of Acoustical Society of America, 89(1):210-220.

Possibilities of creating composite structures for aviation purposes using built-in elements from materials with shape memory in order to solve the problems of the occurrence of resonance phenomena

Permiakov A.P., Nasonov F.A.
MAI, Moscow, Russia

With the development of scientific and technological progress to date, the idea of creating supersonic aircraft is still relevant. However, due to the increased likelihood of resonance in aircraft structural elements, one of the difficulties is the development of structures capable of withstanding vibration loads [1-3]. The solution to this problem can be the use of various methods: detuning the natural frequencies of the structure by changing the cross-sectional areas of the elements, using materials with other stiffness characteristics, using design solutions that reduce stress concentrations, using high-quality parts with a minimum spread in dimensions and operating parameters, etc. The most promising method is the use of damping structures [4,5].

Due to the high specific rigidity and strength, the proportion of airframe structural elements made of polymer composite materials (PCM) in aircraft is growing every day. Due to the higher damping capacity compared to metals and alloys, PCM are more preferable as materials for heavily and moderately loaded structures of supersonic aviation. Moreover, resonance detuning of PCM structures can be carried out using additional reinforcing fibers made of shape memory alloys. For graphite-epoxy composite materials, the first natural frequency decreases with increasing temperature. With additional reinforcement with nitinol fibers, such PCMs, on the contrary, increase the first frequency, and more sharply, which can greatly simplify the process of detuning from resonance [6].

In this paper, the problems of production and design of aircraft structures from polymer composite materials, additionally reinforced with threads from shape memory alloys, are considered.

References:

1. Mokrausov, M. N. Test pilot Mark Gallay and research in the field of aviation technology // Alley of Science. - 2022. - V. 1. - No. 2 (65). - S. 180-183. – EDN CBBQSD.

2. Penchuchenko, V. V. Tabarchya D. L. Flight flutter tests as an integral part of the assessment of the strength of the aircraft structure // Interuniversity collection of scientific papers: Collection of articles. Volume Issue 24. - Krasnodar: Federal State State Military Educational Institution of Higher Education "Krasnodar Higher Military Aviation School for Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2020. - P. 15-18. – EDN OLAMAA.

3. V. G. Dmitriev, N. G. Klyukin, O. S. Mamedov, and V. N. Popovsky, “Simulation of flight tests of aircraft for flutter,” Polet. All-Russian Scientific and Technical Journal. - 2021. - No. 5. - S. 23-33. - EDN FRAGUY.

4. Morozov, V. I., Ovchinnikov V. V. Aerodynamic ways to control vibrations of structural elements. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Mechanics of a rigid body. - 2006. - No. 3. - P. 180-192. – EDN HTXTFV.

5. Fedorov R.V., Serebryansky S.A. Frequency detuning of aircraft airframe structural elements // Engineering Journal: Science and Innovations. - 2021. - No. 1(109). - S. 5.

6. Rogers, C.A., Liang, C. and Fuller, C.R. 1991. “Modeling of Shape Memory Alloy Hybrid Composites for Structural Acoustic Control,” Journal of Acoustical Society of America, 89(1):210-220.

Синтез адаптивного регулятора, построенного на принципе обратной динамики, с идентификацией модели бокового движения в режиме онлайн

Проданик В.А., Ефремов А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящей работе исследуется целесообразность использования принципа обратной динамики при построении регулятора системы управления в боковом канале для обеспечения независимости движений крена и рыскания сверхзвукового пассажирского самолета (СПС) второго поколения с идентификацией математической модели бокового движения в режиме онлайн. Рассматривается дополнение предложенного регулятора интегральным законом.

Приведены результаты экспериментальных исследований, иллюстрирующие что:

• Использование в системе управления предложенного регулятора совместно с интегральным законом позволяет обеспечить практически полную независимость движений крена и рыскания.

• Использование регулятора, основанного на принципе обратной динамики, совместно с интегральным законом обеспечивает повышение точности пилотирования на 65% и значительное улучшение основных характеристик системы самолет-летчик.

• Введение предложенного регулятора обеспечивает соответствие объекта управления первому уровню пилотажных характеристик.

• Использование принципа обратной динамики совместно с интегральным законом обеспечивает меньшую чувствительность регулятора к неточному знанию динамики объекта управления.

• Алгоритм онлайн идентификации способен адаптироваться к резкому изменению характеристик объекта управления, в том числе к возникновению отказа, и своевременно изменять параметры регулятора.

Экспериментальные исследования проводились с использованием полунатурного моделирования на пилотажном стенде лаборатории МАИ НИЛ ПССЛ.

Публикация подготовлена в рамках реализации Программы создания и развития научного центра мирового уровня «Сверхзвук» на 2020-2025 годы при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение от «16» ноября 2020 г. № 075-15-2020-924).

Synthesis of an adaptive controller based on the principle of inverse dynamics and online identification of the lateral motion model

Prodanik V.A., Efremov A.V.
MAI, Moscow, Russia

This research is dedicated to the expediency of using the inverse dynamics principle for constructing a lateral channel control system controller design to ensure the independence of roll and yaw movements of a second-generation supersonic transport (SST) with online identification of a lateral movement mathematical model. The addition of the proposed controller with a PI controller is considered.

The results of experimental studies are presented, illustrating that:

• The use of the proposed controller in the control system combined with the PI controller provides:

• Almost complete independence of roll and yawing movements;

• An increase in piloting accuracy by 65% and a significant improvement in the main characteristics of the pilot-vehicle system;

• The first level of flying qualities;

• Decreasing of sensitivity of the controller to inaccurate knowledge of the dynamics of the control element dynamics.

• The online identification algorithm is able to adopt the controlled element dynamics to a sharp change in the characteristics, including the occurrence of a failure, and change the controller parameters in a timely manner.

Experimental studies were performed by ground-based MAI simulator.

The paper is prepared in the framework of the Program for the development of a world-class research center “Supersonic” in 2020-2025 founded by Russian Ministry of Science and Higher Education (Agreement 16 Nov 2020 № 075-15-2020-924).

Особенности обеспечения безопасности от флаттера самолетов малой авиации

Пронин М.А., Долгополов А.В., Парышев С.Э., Орлова О.А.
ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

При создании летательных аппаратов, помимо обеспечения заявленных тактико-технических характеристик самолет, стоит вопрос обеспечения безопасности летательного аппарата при эксплуатации, в том числе безопасности от флаттера.

Требования по обеспечению безопасности определены в Авиационных Правилах. Для самолетов транспортной категории в АП-25, для самолетов малой авиации в АП-23. В виду ряда причин Авиационные правила часть 23 предъявляют несколько упрощенные требования, нежели АП-25. В тоже время самолеты малой авиации должны иметь такие же запасы по скорости и определяющим параметрам, что и самолеты транспортной категории.

Основными отличиями в требованиях являются упрощенные методы обеспечения безопасности от явлений аэроупругости. В частности, для самолетов без больших сосредоточенных грузов на крыле (таких как двигатели), без Т-образного оперения, цельноповоротного оперения, скоростями полета менее 480км/ч и числом Маха менее 0,5, возможно использование упрощенные методики исследования флаттера, изложенные в РДК «Расчет самолета на флаттер» том 1 выпуск 1943г.

В отличие от самолетов транспортной категории, условия эксплуатации самолетов малой авиации сложно отследить, поскольку они могут использоваться как на подготовленных аэродромах с хорошей организацией обслуживания, так и на удаленных, где круг обслуживающего персонала и доступность запасных частей сильно ограничены. В связи с чем, при создании самолета необходимо учесть эти условия и выполнить исследования в широком спектре параметров самолета и его агрегатов.

Большинство самолетов малой авиации оборудовано механической проводкой управления, что с одной стороны является упрощением конструкции, с другой приводит к выполнению определенных требований по балансировке, а также усложняет летные испытания на флаттер и наземные частотные испытания самолета.

Отдельно стоит вопрос интерпретации запасов по определяющим параметрам. Различные конструкторские бюро их понимают по-разному, что приводит к ошибкам и дополнительным исследованиям, или даже доработкам конструкции.

В результате сказанного выше, обеспечение безопасности от флаттера самолета малой авиации, зачастую не проще, чем для самолета транспортной категории.

Features of ensuring safety from flutter of small aircraft

Pronin M.A., Dolgopolov A.V., Paryshev S.E., Orlova O.A.
TsAGI, Zhukovsky, Russia

During aircraft construction, in addition to ensuring the declared aircraft operating characteristics, there is a question of ensuring the safety of the aircraft during operation, including safety from flutter.

Safety requirements are defined in the Aeronautical Rules. For transport category aircraft in AR-25, for small aircraft in AR-23. For a number of reasons, Aeronautical Rules Part 23 impose somewhat simplified requirements than AR-25. At the same time, small aircraft must have the same margins in terms of speed and defining parameters as aircraft of the transport category.

The main differences in the requirements are simplified methods for ensuring safety against aeroelastic phenomena. In particular, for aircraft without large concentrated weights on the wing (such as engines), without T-tail, all-moving tail, flight speeds less than 480 km / h and Mach number

less than 0.5, it is possible to use the simplified flutter research methods outlined in the Design Guide "Calculation of the aircraft for flutter" volume 1 issue 1943.

Unlike transport category aircraft, the operating conditions of small aircraft are difficult to monitor, since they can be used both at prepared airfields with good organization and at remote ones, where the circle of maintenance personnel and the availability of spare parts are very limited. Therefore, when creating an aircraft, it is necessary to take into account these conditions and perform research in a wide range of parameters of the aircraft and its units.

Most small aircraft are equipped with mechanical control linkage, which, on the one hand, is a simplification of the design, on the other hand, leads to the fulfillment of certain trim balance requirements, and also complicates flight tests for flutter and ground frequency tests of the aircraft.

Separately there is a question of interpretation of safety margine on defining parameters. Different design bureaus understand them differently, which leads to errors and additional research, or even design improvements.

As a result mentioned above, flutter safety for a small aircraft is often no easier than for a transport category aircraft.

Численные исследования влияния угла скольжения на интерференцию воздушного винта и крыла сверхбольшого удлинения

[1]Реслан М.Г., [2]Павленко О.В., [2]Пигусов Е.А., [1]Сантош А.
[1]МФТИ, г. Долгопрудный, Россия
[2]ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Проведены численные исследования влияния угла скольжения (бокового ветра) на аэродинамические характеристики модели самолета с крылом сверхбольшого удлинения λ=23.4, на концах которого установлены мотогондолы двигателей с воздушными винтами. Закрылки и элероны с относительной хордой 17% установлены в нулевое положение Двухлопастные воздушные винты, вращаются симметрично в направлении фюзеляжа с частотой вращения N = 15000 об/мин. Расчет модели самолета проведен в трубных условиях при угле атаки α = 0, в диапазоне углов скольжения β от 0 до 20˚ при скорости набегающего потока V = 50 м/с и числе Рейнольдса Re = 0.35×106, вычисленным относительно средней аэродинамической хорды крыла. Дано сравнение результатов расчета без работающих воздушных винтов с данными эксперимента, полученными в аэродинамической трубе, и показано хорошее согласование. Показано, что увеличение угла скольжения заметно снижает аэродинамические характеристики модели самолета. Отмечено, что на уменьшение подъемной силы оказывает сильное влияние только левая консоль крыла, а на наветренной правой консоли крыла снижение подъемной силы происходит только локально в районе обдува струями воздушного винта. При увеличении угла скольжения зона интерференции с воздушным винтом распространяется по размаху наветренной стороны крыла, где вследствие этого возрастают шарнирные моменты механизации крыла. Численные исследования показали, что одновременное воздействие обдува воздушными винтами и увеличение угла скольжения оказывают существенное воздействие на обтекание модели самолета, ее аэродинамические характеристики и шарнирные моменты механизации крыла.

Influence of Changing Slip Angle on Aerodynamic Performance of an airplane with a high aspect ratio wing

[1]Reslan M.G., [2]Pavlenko O.V., [2]Pigosov E.A., [1]Santosh A.
[1]MIPT, Dolgoprudny, Russia
[2]TsAGI, Zhukovsky, Russia

Numerical investigation of the influence of changing slip angle (side wind) on aerodynamics characteristic for a model of an airplane with a high aspect ratio wing λ=23.4 have been carried out, by which engine nacelles are installed at the end tip of the wing. Flaps and ailerons with a relative chord of 17% of the total chord length are set to zero position (cruising flight). Two-blade propellers rotate symmetrically in the direction of the fuselage with a rotation speed of N = 15,000 rpm. The calculation of the aircraft model was carried out in tubular conditions at an angle of attack α = 0, in

the range of slip angles β from 0 to 20˚. The calculations were carried out at a free stream velocity V = 50 m/s and Reynolds number Re = 0.35×106, these calculations were done using a program based on solving Reynolds-Averaged Navier Stokes Equations.

The Numerical studies have shown that an increase in the slip angle, significantly reduces the aerodynamic characteristics of the aircraft model. It is noted that only the left wing console has a strong influence on the decrease in lift, and on the windward right wing console, the decrease in lift occurs only locally in the area of blowing by the propeller jets. With an increase in the slip angle, the interference zone with the propeller spreads along the span of the windward side of the wing, where, as a result, the hinge moments of the mechanization of the wing increase. Numerical studies have shown that the simultaneous effect of airflow from propellers and an increase in the slip angle have a significant effect on the flow around an aircraft model, its aerodynamic characteristics and hinge moments of the wing mechanization.

Определение оптимальных углов сбега стенок стрингеров

Рыжова Е.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Одним из распространенных видов разрушения многослойных композитных панелей является отслоение обшивки от стрингера из-за относительно малой прочности поверхности раздела. В частности, отслоение и отделение обшивки от стрингера является одним из основных механизмов разрушения многослойных композитных конструкций, наряду с разрушением волокон и растрескиванием матрицы. Расслоение может происходить при различных сочетаниях нагрузок и приводит к значительному снижению несущей способности конструкции, что может привести к её разрушению.

Дон С. Джегли в своей работе [1] рассматривал зону сбега стрингера в локальной однострингерной модели, исследуя геометрические параметры такие как толщина стенки стрингера, толщина обшивки и наклон стенки стрингера. Экспериментальное исследование механизма разрушения [2], [3] показало, что отслоение стрингера под действием растягивающей нагрузки было вызвано комбинацией внеплоскостного и сдвигового напряжений, а разрушение при сжимающей нагрузке было вызвано межслойным сдвиговым напряжением.

В данной работе была разработана глобальная модель крыла в программном обеспечении конечно-элементного расчёта Abaqus. Обшивка, нервюры, стрингеры и стойки смоделированы оболочечными элементами. Крыло консольно закреплено по оси симметрии (ось фюзеляжа). К крылу приложены силы и моменты, обеспечивающие достоверное нагружение конструкции для различных расчётных случаев.

Для расчётов было подготовлено семь вариантов конфигураций стрингеров с различной геометрией сбегов стенок. Для каждой модели рассматривались пять полётных расчётных случаев (A', B, B', C, D'). Между стрингерами и обшивкой использовался когезивный контакт, позволяющий достоверно задать упругие и прочностные свойства поверхности раздела. Остальные элементы конструкции соединены склеенным контактом. На границе раздела стрингер-обшивка предполагается линейное упругое поведение до начала разрушения. Исходя из этого, для определения возникновения повреждения применяется квадратичный критерий разрушения. Отслоение начинается, когда квадратичная функция взаимодействия, включающая отношения контактных напряжений, достигает значения единицы.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что конфигурация стрингера с расстоянием от законцовки стрингера до начала сбега 250 мм и углом сбега стенки 30° является наиболее благоприятной. Глобальная модель крыла с вышеописанной конфигурацией стрингеров была проверена на подвержена дополнительному расчёту на потерю устойчивости. Таким образом была обеспечена прочность рассматриваемого крыла с точки зрения напряжений и деформаций, расслоения композитных элементов конструкции, устойчивости.

Литература:

1. Jegley, Dawn C. “A parametric study of the behavior of compression- loaded graphite-epoxy panels with stiffener terminations a parametric study of the behavior of compression-loaded graphite-epoxy panels with stiffener terminations», 1999.
2. Cosentino, Enzo , and P. M. Weaver . “Nonlinear Analytical Approach for Preliminary Sizing of Discrete Composite Stringer Terminations.” AIAA Journal 47.3(2009), 606-617.
3. Cosentino, Enzo , and P. Weaver . “Prebuckling and Buckling of Unsymmetrically Laminated Composite Panels with Stringer Run- Outs.” AIAA Journal 47.10(2009), 2284-2297.

Determination of the optimal angle of wing stringer web run-out

Ryzhova E.S.
MAI, Moscow, Russia

One of the common types of destruction of multilayer composite panels is the delamination of the skin from the stringer due to the relatively low strength of the interface. In particular, delamination and separation of the skin from the stringer is one of the main mechanisms for the destruction of multilayer composite structures, along with the destruction of fibers and matrix cracking. Delamination can occur under various combinations of loads and leads to a significant decrease in the bearing capacity of the structure, which can lead to its destruction.

Don S. Jagley in his work [1] considered the run-out zone of a stringer in a local one-stringer model, investigating geometric parameters such as stringer wall thickness, skin thickness and stringer wall bevel. An experimental study of the failure mechanism [2], [3] showed that stringer delamination under tensile load was caused by a combination of out-of-plane and shear stresses, and failure under compressive loading was caused by interlayer shear stress.

In this work, a global wing model was developed in the Abaqus finite element software. Skin, ribs and stringers are modeled by shell elements. The wing is cantilevered along the axis of symmetry (fuselage axis). Forces and moments are applied to the wing, providing reliable loading of the structure for various design cases.

For calculations, seven variants of stringer configurations with different wall runout geometry were prepared. Five flight design cases (A', B, B', C, D') were considered for each model. A cohesive contact was used between the stringers and the skin, which made it possible to reliably set the elastic and strength properties of the interface. The remaining structural elements are connected by a tie contact. At the stringer-skin interface, a linear elastic behavior is assumed before the onset of failure. Based on this, a quadratic failure criterion is used to determine the occurrence of damage. Delamination begins when the quadratic interaction function, including the ratio of contact stresses, reaches the value of 1.

An analysis of the results obtained allows us to conclude that the stringer configuration with a distance from the stringer end to the start of the run-out of 250 mm and a web run-out angle of 30° is the most favorable. The global model of the wing with the above stringer configuration was tested to additional buckling analysis. Thus, the strength of the considered wing was ensured in terms of stresses and deformations, delamination of composite structural elements, and stability.

References:

1. Jegley, Dawn C. “A parametric study of the behavior of compression-loaded graphite-epoxy panels with stiffener terminations a parametric study of the behavior of compression-loaded graphite-epoxy panels with stiffener terminations”, 1999.
2. Cosentino, Enzo, and P. M. Weaver. “Nonlinear Analytical Approach for Preliminary Sizing of Discrete Composite Stringer Terminations.” AIAA Journal 47.3(2009), 606-617.
3. Cosentino, Enzo, and P. Weaver. “Prebuckling and Buckling of Unsymmetrically Laminated Composite Panels with Stringer Run-Outs.” AIAA Journal 47.10(2009), 2284-2297.

Оценка влияния объемно-массовой компоновки БПЛА на переходные процессы полета в продольной плоскости

[1]Сагалович С.А., [1]Серебрянский С.А., [2]Клочков А.В.
[1]МАИ, г. Москва, Россия
[2]БГТУ «Военмех», г. Санкт-Петербург, Россия

Создание востребованного конкурентоспособного продукта авиационной техники немыслимо без масштабной исследовательской, проектно-конструкторской и производственной деятельности [1].

Наиболее сложные аэродинамические процессы характерны для вращательного движения БПЛА самолетного типа [2]. Вращение летательного аппарата вокруг осей связанной системы координат приводит к появлениям демпфирующих моментов, моментов запаздывания скоса потока, нестационарным течениям на поверхности планера.

В данной работе рассмотрено влияние объемно-массовой компоновки на характер переходных процессов полета БПЛА в продольной плоскости. Изменение угловой скорости тангажа по величине и направлению во время переходного процесса сопровождается существенно нелинейными изменениями аэродинамических коэффициентов. Количественными оценками качества переходного процесса было принято считать отклонение эмпирических значений аэродинамического момента от линейной зависимости и время переходного процесса.

Изменение объемно-массовой компоновки было имитировано перемещением грузов вдоль главной оси ЛА. Натурные испытания были проведены на стенде полунатурного моделирования динамики полета управляемого ЛА, разработанного на кафедре А5 БГТУ «ВОЕНМЕХ». Стенд обеспечивает моделирование основных процессов, сопровождающих полет управляемого ЛА в продольной плоскости. При этом обеспечивается точное моделирование моментов, действующих на ЛА.

В результате экспериментов было установлено, что уменьшение момента инерции БПЛА и, как следствие, увеличение угловых скоростей приводит к уменьшению времени переходного процесса, однако, при этом зависимость аэродинамического момента от угла атаки становится нелинейной на всех участках траектории. Такие результаты указывают на то, что влияние аэродинамического момента, связанного с внешней компоновкой ЛА, сопоставимо по величине с влиянием моментов, связанных с инерционностью среды существования ЛА. С увеличением момента инерции модели функция зависимости аэродинамического момента от угла атаки приобретает прямолинейные участки, при этом увеличивается время переходного процесса. В этом случае на движение ЛА существенное влияние оказывают инерционные свойства самого объекта.

Таким образом, для уменьшения времени переходного процесса следует уменьшать значение момента инерции ЛА, но при этом будут увеличиваться аэродинамические моменты, вызванные инерционностью среды и различными нестационарными течениями. Для описания такого движения следует учитывать производные высоких порядков, что приводит к увеличению времени формирования управляющего сигнала. Помимо этого, в момент изменения знака угловой скорости значения аэродинамического момента могут достигать экстремальных значений и приводить к разрушению планера. Увеличение момента инерции приводит к увеличению времени переходного процесса, что негативно сказывается на маневренных качествах ЛА.

Литература:

1. Цифровые технологии в жизненном цикле Российской конкурентоспособной авиационной техники / А. Г. Братухин, С. А. Серебрянский, Д. Ю. Стрелец [и др.]. – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский универ-ситет), 2020. – 448 с. – ISBN 978-5-4316-0694-6. – EDN ZGQVGN.

2. Серебрянский, С. А. Подход к формированию технического облика беспилотного воздушного судна / С. А. Серебрянский, А. Е. Парненков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2019. – Т. 19. – № 3. – С. 43-52. – DOI 10.14529/engin190305. – EDN GQKHSM.

Evaluation of the influence of the inboard arrangement of the UAV on the transient responses of flight in the longitudinal plane

[1]Sagalovich S.A., [1]Serebryansky S.A., [2]Klochkov A.V.
[1]MAI, Moscow, Russia
[2]BSTU "VOENMEH", Saint-Petersburg, Russia

The creation of a sought-after competitive product of aviation technology is unthinkable without large-scale research design and production activities [1].

The most complex aerodynamic processes are characteristic of the rotational motion of an airplane-type UAV [2]. The rotation of the aircraft around the body axes leads to the appear-ance of damping moments downwash lag moment non-stationary flows on the surface of the airframe.

In this article the influence of the inboard arrangement on the nature of the transient responses of UAV flight in the longitudinal plane is considered. The change in the pitch angular velocity in magnitude and direction during the transient responses is accompanied by significantly non-linear changes in aerodynamic coefficients. The deviation of the empirical values of the aerodynamic moment from the linear dependence and the time of the transient response were considered to be quantitative estimates of the quality of the transient response.

The change in the inboard arrangement was simulated by moving weight along the fuse-lage reference line. Full-scale tests were carried out at the stand of semi-natural simulation of the flight dynamics of a controlled aircraft developed at the A5 department of BSTU "VOENMEH".

As a result of experiments it was found that a decrease in the moment of inertia of the UAV and as a consequence an increase in angular velocities leads to a decrease in the transient response time however at the same time the dependence of the aerodynamic moment on the angle of attack becomes non-linear in all sections of the trajectory.

Such results indicate that the influence of the aerodynamic moment associated with the external packaging of the aircraft is comparable in magnitude to the influence of moments associated with the inertia of the aircraft's environment. With an increase in the moment of inertia of the model the function of the dependence of the aerodynamic moment on the angle of attack gets linear sections while the transient response time increases. In this case the inertial properties of the object itself have a significant effect on the movement of the aircraft.

Thus in order to reduce the time of the transient response the value of the moment of in-ertia of the aircraft should be reduced but at the same time the aerodynamic moments caused by the inertia of the medium and various non-stationary flows will increase. To describe such a movement high-order derivatives should be taken into account which leads to an increase in the time of formation of the control signal. In addition at the moment of changing the sign of the angular velocity the values of the aerodynamic moment can reach extreme values and lead to the destruction of the airframe. An increase in the moment of inertia leads to an increase in the trasient response time which negatively affects the manoeuvring ability of the aircraft.

References:

1. Digital technologies in the life cycle of Russian competitive aviation technology / A.G. Bratukhin, S. A. Serebryansky, D.Yu. Strelets [et al.]. – Moscow: Moscow Aviation Institute (National Research University), 2020. – 448 p.– ISBN 978-5-4316-0694-6.–EDN ZGQVGN.

2. Serebryansky, S.A. An approach to the formation of the technical appearance of an un-manned aircraft / S.A. Serebryansky, A.E. Parnenkov // Bulletin of the South Ural State University. Series: Mechanical Engineering. – 2019.–Vol. 19. – No. 3. – pp. 43-52. – DOI 10.14529/engin190305. – EDN GQKHSM.

Исследование ЛТХ ближнемагистрального самолета, рассчитанных по тяговым и мощностным характеристикам двигателя

[1]Севостьянов А.С., [1]Попов Ю.И., [1]Вилесов А.Г., [2]Бодарев В.М., [1]Сафин Р.М.
[1]МАИ, [2]ПАО «Туполев», г. Москва, Россия

Исследование ЛТХ ближнемагистрального самолета, рассчитанных по тяговым и мощностным характеристикам двигателя.

Качество самолета и эффективность его использования как транспортного средства определяются его летно-техническими характеристиками (ЛТХ), надежностью, сроком службы и безопасностью применения.

Существуют различные методики расчета ЛТХ самолета с турбовинтовыми двигателями. Одни из них в своих расчетных формулах используют мощностные характеристики двигателя, другие – тяговые.

Данное исследование проводится с целью сравнения методик расчета ЛТХ турбовинтового самолета и выбора наиболее точной из них. Методическая часть работы основывается на сравнении как численных значений определенных летно-технических характеристик самолета (таких как: скорость сваливания, скорость отрыва, длина разбега и т.д.), так и графических зависимостей, которые позволят сделать выводы о точности представленных методик [1].

В начале работы будут определены ЛТХ самолета при использовании в расчетах мощности силовой установки. Затем будут рассчитаны те же параметры и графические зависимости, но с использованием тяги силовой установки. Далее будет произведена оценка полученных результатов и сделан вывод о точности исследуемых методик. Главным параметром, используемым при сравнении методик, будет зависимость максимальной избыточной мощности от высоты полета [2].

Результаты исследования. Анализ полученных данных показывает, что по большинству рассчитанных параметров средняя погрешность результатов двух методик составляет 3,7 %. Зависимости максимальной избыточной мощности от высоты полета для двух методик получаются близкими друг к другу.

Анализируемые в данной работе методики дают близкие друг к другу результаты. Это означает, что при расчете ЛТХ, на начальной стадии проектирования, конкурентоспособного самолета можно пользоваться любой из них [3].

Литература:

1. Концептуальные основы синтеза проекта винтовых самолетов: теория, примеры, тесты / Арепьев А.Н. – Санкт-Петербур: Моя строка, 2021. – 641 с. – ISBN 978-5-9965-1502-8.

2. Проектирование самолетов / под ред. М.А. Погосяна. – 5-е изд., перераб. и доп. Москва: Инновационное машиностроение, 2018. – 864 с. – ISBN 978-5-6040281-5-5.

3. Цифровые технологии в жизненном цикле Российской конкурентоспособной авиационной техники / А. Г. Братухин, С. А. Серебрянский, Д. Ю. Стрелец [и др.]. – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020. – 448 с. – ISBN 978-5-4316-0694-6. – EDN ZGQVGN.

Investigation of the FPC of a short-haul aircraft, calculated according to the traction and power characteristics of the engine

[1]Sevostyanov A.S., [1]Popov Yu.I., [1]Vilesov A.G., [2]Bodarev V.M., [1]Safin R.M.
[1]MAI, [2]PJC “Tupolev”, Moscow, Russia

Investigation of the FPC of a short-haul aircraft, calculated according to the traction and power characteristics of the engine.

The quality of the aircraft and the effectiveness of its use as a vehicle are determined by its flight performance characteristics (FPC), reliability, service life and safety of use.

There are various methods for calculating the FPC of an aircraft with turboprop engines. Some of them use engine power characteristics in their calculation formulas, while others use traction characteristics.

This study is conducted in order to compare the methods of calculating the FPC of a turboprop aircraft and select the most accurate of them. The methodological part of the work is based on a comparison of both numerical values of certain flight characteristics of the aircraft (such as stall speed, break-off speed, take-off length, etc.) and graphical dependencies that will allow us to draw conclusions about the accuracy of the presented techniques [1].

At the beginning of the work, the FPC of the aircraft will be determined when using the power plant in calculations. Then the same parameters and graphical dependencies will be calculated, but using the thrust of the power plant. Next, the results will be evaluated and a conclusion will be made

about the accuracy of the methods studied. The main parameter used when comparing the techniques will be the dependence of the maximum excess power on the flight altitude [2].

The results of the study. Analysis of the data obtained shows that for most of the calculated parameters, the average error of the results of the two methods is 3,7%. The dependences of the maximum excess power on the flight altitude for the two methods are obtained close to each other.

The methods analyzed in this paper give similar results to each other. This means that when calculating the FPC, at the initial stage of designing a competitive aircraft, you can use any of them [3].

References:

1. Conceptual foundations of the synthesis of the propeller aircraft project: theory, examples, tests / Arepyev A.N. – St. Petersburg: My line, 2021. – 641 p. – ISBN 978-5-9965-1502-8.

2. Aircraft design / edited by M.A. Poghosyan. – 5th ed., reprint. and add. Moscow: Innovative Mechanical Engineering, 2018. – 864 p. – ISBN 978-5-6040281-5-5.

3. Digital technologies in the life cycle of Russian competitive aviation technology / A. G. Bratukhin, S. A. Serebryansky, D. Yu. Strelets [et al.]. – Moscow: Moscow Aviation Institute (National Research University), 2020. – 448 c. – ISBN 978-5-4316-0694-6. – EDN ZGQVGN.

Оценка топливной эффективности ближнемагистрального пассажирского самолета

[1]Севостьянов А.С., [1]Плыкин Е.И., [1]Вилесов А.Г., [2]Николаева А.А., [3]Гончар А.Н.
[1]МАИ, [2]ПАО «Туполев», [3]ЦИАМ, г. Москва, Россия

Топливная эффективность пассажирского самолета представляет собой конечный показатель совершенства проектировочных решений и технологий его изготовления, который определяет конкурентоспособность проекта на рынке и его окупаемость, а в дальнейшем рентабельность и целесообразность эксплуатации самолета авиакомпаниями. С учетом ускоренного темпа развития авиационной техники, данный показатель может также оказаться решающим и для прогнозируемого срока службы лайнера, где в будущем ожидается появление всё более экологичных самолетов и все более жестких ограничений, ведущих к преждевременному моральному старению и списанию не полностью отработавших свой ресурс самолетов.

Существуют различные параметры оценки топливной эффективности пассажирских самолетов. К ним можно отнести: расход топлива на пассажиро-километр, часовой и километровый расход топлива. Данные параметры позволяют оценить аэродинамическое и экономическое совершенство самолета, а также дают представление о конкурентоспособности разрабатываемого летательного аппарата [1].

В работе проводится оценка топливной эффективности ближнемагистрального пассажирского самолёта. В процессе работы рассчитываются часовой расход топлива, а также количество топлива, расходуемого на один пассажиро-километр. Далее приводится анализ статистики по данным параметрам у самолетов-аналогов и дается заключение об экономичности, надёжности и конкурентоспособности разрабатываемого самолета [2, 3].

Анализ полученных расчетных данных показал, что проектируемый самолет в дипломном проекте по критерию топливной эффективности не уступает современным аналогам. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании вновь разрабатываемого ближнемагистрального пассажирского самолета.

Литература:

1. Цифровые технологии в жизненном цикле Российской конкурентоспособной авиационной техники / А. Г. Братухин, С. А. Серебрянский, Д. Ю. Стрелец [и др.]. – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020. – 448 с. – ISBN 978-5-4316-0694-6. – EDN ZGQVGN.

2. Проектирование самолетов / под ред. М.А. Погосяна. – 5-е изд., перераб. и доп. Москва: Инновационное машиностроение, 2018. – 864 с. – ISBN 978-5-6040281-5-5.

3. Подход к оценке надёжности самолётных систем с использованием метода анализа логических схем / С. А. Серебрянский, Хуан Чжэн, Ю. Н. Тихтей, В. В. Кременчуцкий // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 8. – С. 28-31. – EDN YBPPHP.

Evaluation of the fuel efficiency of a short-haul passenger aircraft

[1]Sevostyanov A.S., [1]Plykin E.I., [1]Vilesov A.G., [2]Nikolaeva A.A., [3]Gonchar A.N.
[1]MAI, Moscow, [2]PJC "Tupolev", [3]CIAM, Moscow, Russia

The fuel efficiency of a passenger aircraft is the final indicator of the perfection of design solutions and manufacturing technologies, which determines the competitiveness of the project in the market and its payback, and in the future, the profitability and feasibility of operating the aircraft by airlines. Taking into account the accelerated pace of development of aviation technology, this indicator may also be decisive for the projected service life of the liner, where in the future more environmentally friendly aircraft and increasingly stringent restrictions are expected to appear, leading to premature moral aging and the write-off of aircraft that have not fully spent their life.

There are various parameters for evaluating the fuel efficiency of passenger aircraft. These include: fuel consumption per passenger-kilometer, hourly and kilometer fuel consumption. These parameters allow us to evaluate the aerodynamic and economic perfection of the aircraft, and also give an idea of the competitiveness of the aircraft being developed [1].

The paper evaluates the fuel efficiency of a short-haul passenger aircraft. During operation, the hourly fuel consumption is calculated, as well as the amount of fuel consumed per passenger-kilometer. The following is an analysis of statistics on these parameters for analog aircraft and a conclusion is given on the efficiency, reliability and competitiveness of the aircraft being developed [2, 3].

The analysis of the calculated data obtained showed that the projected aircraft in the diploma project is not inferior to modern analogues in terms of fuel efficiency. The results obtained can be used in the design of a newly developed short-haul passenger aircraft.

References:

1. Digital technologies in the life cycle of Russian competitive aviation technology / A. G. Bratukhin, S. A. Serebryansky, D. Yu. Strelets [et al.]. – Moscow: Moscow Aviation Institute (National Research University), 2020. – 448 c. – ISBN 978-5-4316-0694-6. – EDN ZGQVGN.

2. Aircraft design / edited by M.A. Poghosyan. – 5th ed., reprint. and add. Moscow: Innovative Mechanical Engineering, 2018. – 864 p. – ISBN 978-5-6040281-5-5.

3. An approach to assessing the reliability of aircraft systems using the logic circuit analysis method / S. A. Serebryansky, Huang Zheng, Yu. N. Tikhtey, V. V. Kremenchutsky // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. – 2022. – № 8. – C. 28-31. – EDN YBPPHP.

Оценка надёжности функционирования топливной системы самолёта при помощи Марковского анализа

Стрелец Д.Ю., Хуан Чжэн
МАИ, г. Москва, Россия

Разработка сложных технических систем с высоким уровнем надёжности является одной из основных задач при создании конкурентоспособной авиационной техники [1]. Решение данной задачи приобретает особое значение, так как надёжность летательного аппарата в целом и его составных частей непосредственно связана с безопасностью полётов.

Анализ надёжности топливной системы (ТС) представляет собой важный процесс, начиная с этапа формирования её облика и заканчивая конструктивными решениями по системе в целом, её подсистемам и элементам. Это позволяет определить и классифицировать отказные состояния, которые связаны с условиями функционирования ТС [2].

Предварительный анализ безопасности выполняется в виде анализа дерева неисправности, анализа логических цепей, используется также Марковский анализ [3].

В данной работе рассматривается метод Марковского анализа, позволяющий моделировать условия возникновения отказных состояний и определять условия их появления. Результаты обработки данных дают возможность получить вероятность и интенсивность перехода системы из исправного состояния в другие. С помощью модели можно сформировать вектор вероятности отказов, в котором каждая составляющая отражает вероятность отказа системы в целом. Результаты графически представляются с помощью диаграмм состояний или диаграмм интенсивностей переходов в отказные состояния.

Марковский анализ не имеет ограничений, последовательно возникающие независимые события рассматриваются естественным образом и могут описать широкий диапазон функционирования системы.

Оценка безопасности представляет собой итерационный процесс, который проводится на всех этапах разработки топливной системы. При этом, с помощью аналитических методов, все отказные состояния, приводящие к последствиям, рассматриваются как базовые события. Их интенсивность определяется из анализа видов и последствий отказов. Каждая подсистема дополнительно анализируется с помощью оценки функционального состояния с учётом единичных отказов её элементов.

Предварительный анализ безопасности позволяет принимать конструктивные решения для обеспечения требуемого уровня надёжности исследуемой системы.

Литература:

1. Цифровые технологии в жизненном цикле Российской конкурентоспособной авиационной техники / А. Г. Братухин, С. А. Серебрянский, Д. Ю. Стрелец [и др.]. – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020. – 448 с. –ISBN 978-5-4316-0694-6. –EDN ZGQVGN.

2. Подход к оценке надёжности самолётных систем с использованием метода анализа логических схем / С. А. Серебрянский, Хуан Чжэн, Ю. Н. Тихтей, В. В. Кременчуцкий // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 8. – С. 28-31. – EDN YBPPHP.

3. Руководство 4761. По методам оценки безопасности систем и бортового оборудования воздушных судов гражданской авиации. Авиаиздат, 2011, 270 с.

Evaluation of the reliability of the aircraft fuel system using Markov analysis

Strelets D.Yu., Zheng Huang
MAI, Moscow, Russia

The development of complex technical systems with a high level of reliability is one of the main tasks in the creation of competitive aviation technology [1]. The solution of this problem is of particular importance, since the reliability of the aircraft as a whole and its components is directly related to flight safety.

Analysis of the reliability of the fuel system (FS) is an important process, starting from the stage of formation of its appearance and ending with design solutions for the system as a whole, its subsystems and elements. This allows you to determine and classify failure conditions that are associated with the operating conditions of the vehicle [2].

Preliminary safety analysis is performed in the form of a fault tree analysis, logical circuit analysis, and Markov analysis is also used [3].

In this paper, we consider the method of Markov analysis, which makes it possible to simulate the conditions for the occurrence of failure conditions and determine the conditions for their occurrence. The results of data processing make it possible to obtain the probability and intensity of the transition of the system from a healthy state to others. Using the model, it is possible to form a failure probability vector, in which each component reflects the probability of failure of the system as a whole. The results are graphically represented using state diagrams or failure state transition intensity diagrams.

Markov analysis has no limitations, sequentially arising independent events are considered in a natural way and can describe a wide range of system functioning.

The safety assessment is an iterative process that is carried out at all stages of fuel system development. At the same time, with the help of analytical methods, all failure conditions leading to consequences are considered as basic events. Their intensity is determined from the analysis of the types and consequences of failures. Each subsystem is additionally analyzed by assessing the functional state, taking into account single failures of its elements.

Preliminary safety analysis allows you to make design decisions to ensure the required level of reliability of the system under study.

References:

1. Digital technologies in the life cycle of Russian competitive aviation technology / A. G. Bratukhin, S. A. Serebryansky, D. Yu. Strelets [et al.]. - Moscow: Moscow Aviation Institute (National Research University), 2020. -448 p. –ISBN 978-5-4316-0694-6. –EDNZGQVGN.

2. Serebryansky S. A., Zheng Huang, Tikhtey Yu. N., Kremenchutsky V. V. Approach to assessing the reliability of aircraft systems using the method of logic circuit analysis // Scientific and technical bulletin of the Volga region. - 2022. - No. 8. - S. 28-31. – EDN YBPPHP.

3. Guideline 4761. On methods for assessing the safety of civil aviation aircraft systems and avionics. Aviaizdat, 2011, 270 p.

Поиск оптимальных конструктивно-технических решений по применению датчиков встроенного контроля в композитных агрегатах перспективных гражданских самолетов

Тинчурина Д.Р., Насонов Ф.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Мониторинг безопасности воздушных судов сегодня становится актуальной задачей. Одним из наиболее важных компонентов самолета, в котором целесообразно использовать интегрированные технологии управления, является крыло. Под действием аэродинамической нагрузки крыло самолета сильно деформируется при изгибе и кручении, что серьезно влияет на безопасность самолета. Чтобы компенсировать основные деформации, вызванные деформациями крыла, необходимо точно получить деформацию формы крыла. Использование неподходящих методов анализа для оценки формы крыла во время летных испытаний может привести к его разрушению из-за турбулентности и т.д. В статье рассматриваются основные технические характеристики крыла, технология подключения датчиков на волоконных брэгговских решетках (ВБР). Сравниваются и анализируются преимущества и недостатки других методов измерения, а также подробно анализируется состояние применения измерительной технологии ВБР для измерения формы крыла самолета.

Развитие волоконной оптики началось в конце прошлого столетия и продолжается по сей день. Волоконные брэгговские решетки (ВБР) представляют собой тип дифракционных решеток, используемых для кодирования по длинам волн, на которые незначительно влияют колебания источника света системы и внешние факторы.

Спектральная селективность обусловлена явлением дифракции на участках с модифицированным показателем преломления. Период решетки Λ подбирается под определенные длины волн. Длина самой решетки обычно варьируется от 1 мм до нескольких сантиметров и включает несколько десятков тысяч неоднородных областей.

ВБР широко используются для измерения деформации крупных конструкций из-за их небольших размеров, легкого веса и способности противостоять сильным электромагнитным помехам и функции самонастройки. Он подходит для онлайн-измерения напряжения, деформации и температуры снаружи или внутри.

Search for optimal design and technical solutions for the use of built-in control sensors in composite assemblies of promising civil aircraft

Tinchurina D.R., Nasonov F.A.
MAI, Moscow, Russia

Aircraft safety monitoring is becoming an urgent task today. One of the most important components of an aircraft in which it is advisable to use integrated control technologies is the wing. Under the influence of aerodynamic load, the wing of the aircraft is strongly deformed during bending and torsion, which seriously affects the safety of the aircraft. In order to compensate for the main deformations caused by wing deformations, it is necessary to accurately obtain the deformation of the wing shape. The use of inappropriate analysis methods to assess the shape of the wing during flight tests may lead to its destruction due to turbulence, etc. The article discusses the main technical characteristics of the wing, the technology of connecting sensors on fiber Bragg gratings (VBR). The advantages and disadvantages of other measurement methods are compared and analyzed, as well as

the state of application of the measurement technology of the VBR for measuring the shape of an aircraft wing is analyzed in detail.

The development of fiber optics began at the end of the last century and continues to this day. Fiber Bragg gratings (VBR) are a type of diffraction gratings used for encoding by wavelengths that are slightly affected by fluctuations in the system's light source and external factors.

Spectral selectivity is due to the phenomenon of diffraction in areas with a modified refractive index. The lattice period Λ is selected for certain wavelengths. The length of the lattice itself usually varies from 1 mm to several centimeters and includes several tens of thousands of heterogeneous areas.

VBRs are widely used to measure the deformation of large structures due to their small size, light weight and ability to withstand strong electromagnetic interference and self-tuning function. It is suitable for online measurement of stress, strain and temperature outside or inside.

Многоцелевой вертолет поперечной схемы на базе двух винтомоторных групп вертолета Ми-38

[1]Трояновский М.А., [2]Артамонов Б.Л.
[1]НЦВ Миль и Камов, р.п. Томилино, Россия
[2]МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается многоцелевой вертолет поперечной схемы, спроектированный на базе двух винтомоторных групп вертолета Ми-38. Анализ отечественного рынка вертолётов с массой перевозимого груза от 5 т свидетельствует о целесообразности создания вертолёта, грузоподъемностью близкой к грузоподъёмности вертолета Ми-6. На основе нового концептуального подхода, выбраны параметры вертолёта поперечной схемы, выполнены его массовый и аэродинамический расчеты. В качестве типовой транспортной операции рассмотрена перевозка внутри грузовой кабины груза массой 9 т на расстояние 500 км. Взаимное индуктивное влияние несущих винтов в поперечной комбинации и их влияние на крыло определены на основе обобщенной дисковой вихревой теории В.И.Шайдакова. Разработаны компоновка и габаритный чертёж вертолёта, параметры несущих винтов которого соответствуют вертолету Ми-38 и незначительно отличаются от их оптимальных значений, полученных для двигателей ТВ7-117В, установленных на этом вертолете. Многие агрегаты и системы проектируемого вертолета полностью или частично берутся с Ми-38, что позволяет сохранить их назначенные ресурсы, подтвержденные испытаниями. Предлагаемый вертолет обладает технико-экономическими характеристиками, позволяющими заполнить существующую нишу возможных транспортных операций на диаграмме "Груз-Дальность". Прогнозируемая стоимость типовой транспортной операции, выполняемой проектируемым вертолетом поперечной схемы, подтверждает целесообразность подхода "удвоения" несущих систем, принятого при разработке вертолета В-12.

Side-by-side rotor utility helicopter based two propulsion systems of the Mi-38 helicopter

[1]Troyanovsky M.A., [2]Artamonov B.L.
[1]NHC Mill&Kamov, Tomilino, Russia
[2]MAI, Moscow, Russia

This report refers to a side-by-side rotor utility helicopter, designed on the basis of two propulsion systems of the Mi-38 helicopter. The analysis of the domestic helicopter market with a cargo weight of 5 tons indicates the practicability of creating a helicopter with the baggage capacity of the Mi-6 helicopter. The conceptual approach described in the article uses for mass and aerodynamic calculations and selection of the parameters of the side-by-side rotor helicopter. A typical transport operation is considered as the option of transporting 9 tons of cargo inside the cargo cabin at a distance of 500 km. The mutual inductive effect of the main rotors in the transverse combination and their effect on the wing are determined by the generalized disk vortex theory of V.I.Shaidakov.

The layout and dimensional drawing of the helicopter are developed, which parameters of the main rotors are taken from the Mi-38 helicopter and slightly differ from their optimal values obtained for the TV7-117V engines installed on the Mi-38 helicopter. Many units and systems of the developed

helicopter are fully or partially taken from. Tests confirm that it allows to save their assigned resources. Such a helicopter has high technical characteristics and it is cost-effective. It allows to fill the existing niche of possible transport operations on the «Cargo-Range» diagram. The projected cost of the typical transport operation performed by the designed side-by-side rotor helicopter confirms the practicability of the approach to double propulsion systems which is used in developing of the B-12 helicopter.

Имитационное моделирование блока питания локальной гидросистемы самолета

Чулков М.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Одной из основных современных тенденций развития силовых систем управления современных самолетов является расширение применения в них вырабатываемой на борту электроэнергии в соответствии с концепцией «более электрического самолёта». Полный переход на электрические (автономные электрогидростатические) приводы сегодня будет неприемлем с точки зрения отказобезопасности при существующих схемах энергопитания самолета, а отказ от централизованных гидросистем и приводов с питанием от них преждевременен. [1] Международный опыт создания транспортных самолетов показал, что установка локальных гидравлических систем, источником энергии в которых является электроприводная насосная станция, целесообразна для потребителей, расположенных в хвостовой части самолета (руль направления, рули высоты и переставной стабилизатор). Это позволяет отказаться от прокладки длинных трубопроводных магистралей вдоль всего фюзеляжа, заменив их более лёгкими электрическими кабелями. Другое преимущество использования локальных гидросистем при сохранении на самолете централизованной гидросистемы – снижение установочной мощности блока питания последней благодаря отсутствию потерь по длине в трубопроводах подвода питания к гидроагрегатам в хвостовой части самолета.

В связи с этим возникает необходимость в разработке математической модели гидравлического блока питания на базе электроприводной автономной насосной станции. Представленная в настоящей работе математическая модель, выполненная в относительных величинах, позволяет однозначно определить зависимости гидродинамических параметров гидравлического блока питания от гидродинамических и конструктивных параметров функциональных подсистем, и может применяться для расчета локальных гидросистем любой мощности. Приведены результаты моделирования переходных процессов в блоке питания.

Литература:

1. Тенденции развития архитектуры исполнительной части системы управления современных самолетов / Байков С.В., Близнова Т.Б., Оболенский Ю.Г. // Научный вестник ГосНИИ ГА, 2012, №2.

Simulation modeling of the aircraft local hydraulic system power unit

Chulkov M.V.
MAI, Moscow, Russia

One of the main modern trends in the development of powered flight control systems of modern aircraft is the expansion of the use of electricity generated on board in accordance with the concept of a “more electric aircraft”. A full transition to electric (electrohydrostatic) actuators today will be unacceptable from the point of view of fail-safety with existing aircraft power supply schemes, and the rejection of centralized hydraulic systems and actuators powered by them is premature. [1] International experience in the creation of transport aircraft has shown that the installation of local hydraulic systems with an electropump as a power source is appropriate for actuators located in the tail section of the aircraft (rudder, elevators and tail stabilator). This eliminates the need to lay long pipelines along the entire fuselage, replacing them with lighter electrical cables. Another advantage of using local hydraulic systems while maintaining a centralized hydraulic system on the aircraft is a decrease in the installed power of the power supply unit of the latter due to the absence of length losses in the pipelines for supplying power to the hydraulic units in the tail section of the aircraft.

In this regard, there is a need to develop a mathematical model of a hydraulic power unit based on an electropump. The mathematical model presented in this paper, made in relative terms, makes it possible to unambiguously determine the dependences of the hydrodynamic parameters of the hydraulic power unit on the hydrodynamic and design parameters of functional subsystems, and can be used to calculate local hydraulic systems of any power capacity. The results of simulation of transient processes in the power unit are given.

References:

1. Baykov S.V., Bliznova T.B., Obolenskiy Y.G. Development trends for architecture of control system's executive section in construction of modern aircraft. / Scientific herald of State Research Institute of Civil Aviation, 2012, №2.

Оптимизация конструкции крыла БПЛА на солнечной энергии с учетом статической аэроупругости с помощью метода DOE

Чэнь Лэй, Стрелец Д.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

Реализация новых физических принципов требует совершенствования подходов к разработке и производству конкурентоспособной авиационной техники [1].

Летательный аппарат, использующий новую энергию, БПЛА на солнечной энергии привлекает внимание авиаконструкторов всего мира своими уникальными эксплуатационными характеристиками. Характерной особенностью БПЛА на солнечной энергии является обеспечение энергии за счет солнечной энергии для обеспечения полета и выполнения функциональных задач. В последние годы БПЛА такого типа используются в различных странах для прогнозирования погоды, мониторинга окружающей среды и связи.

Для крыла такого самолёта характерно большое удлинение и широкое применение сверхлегких композитных материалов. Эти особенности могут привести к возникновению явлений аэроупругости [2].

В данной работе рассматривается подход к оптимизации конструкции крыла с целью максимального уменьшения упругих деформаций, обеспечив при этом, достаточно малую потерю солнечной энергии, решая важнейший вопрос при проектировании таких летательных аппаратов.

При оптимизации крыла солнечного БПЛА с учетом статической аэроупругости встречается большое количество переменных, таких как: геометрические размеры силовых элементов конструкции (лонжеронов, нервюр), угол укладки композитного материала, количество слоев. Ограничения включают в себя вес конструкции, деформацию крыла, нормальные напряжения и напряжения сдвига. В этом случае, если каждое состояние моделируется с помощью программного обеспечения конечных элементов и вычислительной гидродинамики, это повлечет за собой огромные временные затраты.

Метод DOE (Design of experiments, дизайн экспериментов) представляет собой комплексный статистический экспериментальный метод, используемый для изучения влияния нескольких переменных на систему или структуру, то есть отношения преобразования между входными данными (значением переменной) и выходными данными (реакцией) системы или структуры. Целью дизайна экспериментов является сбор репрезентативного набора данных для расчета поверхности отклика, а затем запуск оптимизации. По сути, будет рассчитан набор определенных расчетных точек. Точность поверхности отклика будет сильно зависеть от схемы DOE и особенно от количества расчетных точек, которые были рассчитаны.

Выполняется моделирование статической аэроупругости крыла солнечного БПЛА, оптимизация проводится методом DOE. По результатам показалось, что с помощью метода DOE эффективно оптимизируется угол укладки композитных материалов, чтобы уменьшить максимальную деформацию концевой части крыла БПЛА на солнечной энергии, и обеспечить минимально потери мощности солнечной энергии.

Литература:

1. Цифровые технологии в жизненном цикле Российской конкурентоспособной авиационной техники / А. Г. Братухин, С. А. Серебрянский, Д. Ю. Стрелец [и др.]. –Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020. – 448 с. –ISBN 978-5-4316-0694-6. –EDN ZGQVGN.

2. Чэнь Л. Анализ проблем аэроупругости БПЛА на солнечной энергии. Гагаринские чтения XLVIII. Москва, 2022. С. 57-58.

Оптимизация конструкции крыла БПЛА на солнечной энергии с учетом статической аэроупругости с помощью метода DOE

Chen Lei, Strelets D.Yu.
MAI, Moscow, Russia

The implementation of new physical principles requires the improvement of approaches to the development and production of competitive aviation equipment [1].

A new-energy aircraft, the solar-powered UAV is attracting the attention of aircraft designers around the world with its unique performance characteristics. And one of them is to provide power from solar energy to ensure flight and perform functional tasks. In recent years, UAVs of this type have been used in various countries for weather forecasting, environmental monitoring and communications.

The wing of such an aircraft is characterized by high aspect ratio and the wide-spread use of ultralight composite materials. These features can lead to the occurrence of aeroelastic phenomena [2].

In this paper, an approach was considered to optimizing the wing structure in order to minimize elastic deformations, while ensuring a sufficiently low loss of solar energy, solving the most important issue in the design of such aircraft.

When optimizing a solar-powered UAV wing, taking into account static aeroelasticity, a large number of variables are encountered, such as: the geometric dimensions of structural elements (spars, ribs), the laying angle of the composite material, and the number of layers. Constraints include structural weight, the deformation of wing, the normal and shear stresses. In this case, if each state is modeled using finite element and computational fluid dynamics software, this will incur a huge time cost.

The DOE method (Design of experiments) is a complex statistical experimental method used to study the influence of several variables on a system or structure, that is, the relationship of the transformation between the input data (variable value) and the output data (reaction) of the system or structures. The goal of experiment design is to collect a representative set of data to calculate the response surface, and then run the optimization. In essence, a set of specific points will be calculated. The accuracy of the response surface will greatly depend on the DOE design and especially on the number of calculation points that have been calculated.

The static aeroelasticity of the solar UAV wing is simulated, optimization is carried out using the DOE method. According to the results, it seemed that using the DOE method, the stacking angle of composite materials was effectively optimized in order to reduce the maximum deformation of the solar-powered UAV wing tip, and ensure minimal solar energy power loss.

References:

1. Digital technologies in the life cycle of Russian competitive aviation technology / Bratukhin A.G., Serebryansky S.A., Strelets D.Yu., etc. –Moscow: Moscow Aviation Institute (National Research University), 2020. –p.448. –ISBN 978-5-4316-0694-6. –EDN ZGQVGN.

2. Chen L. Analysis of aeroelastic problems toward solar-powered UAVs. Gagarin’s Readings XLVIII. Moscow, 2022, p.57-58.

Определение границ применимости моделей различной степени подробности при вычислении нагрузок на опоры шасси при посадке

Шелков К.А., Трифонов Р.Д., Перепечаев С.А., Бойков А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Численные расчеты глобальной конечно-элементной модели (КЭМ) проектируемого самолета с помощью метода конечных элементов (МКЭ) используются для нахождения нагрузок, с целью дальнейшего проектирования и анализа грубых посадок. Также необходимость таких анализов возникает из-за требований пункта параграфа 25.721 Авиационных Правил [1], а также его зарубежных аналогов [2,3], согласно которому при проектировании современных гражданских самолетов транспортной категории должно быть подтверждено отсутствие утечки топлива из любой части топливной системы в количестве, достаточном для появления опасности пожара, при разрушении узлов навески основной опоры шасси при аварийной посадке. При этом существует несколько подходов к построению таких КЭМ:

• Построение подробной глобальной модели – все агрегаты самолета проектируются с помощью твердотельных и оболочечных элементов. Данный подход является наиболее точным, но при этом подготовка таких КЭМ трудозатратна и их расчет требует больших вычислительных мощностей;

• Построение упругой балочной глобальной модели – зоны интереса моделируются с помощью твердотельных и оболочечных элементов, а остальные агрегаты самолета, такие как отсеки фюзеляжа и части крыла моделируются балочными элементами с обобщёнными свойствами. При данном подходе сохраняются жесткостные и инерционные свойства агрегатов самолета, и при этом такие модели требуют меньшего числа вычислительных ресурсов;

• Построение жесткой балочной глобальной модели – зоны интереса связаны между собой абсолютно жесткими связями. Наименее трудозатратный подход, но для определенных расчетных случаев может давать большую ошибку из-за пренебрежения жесткостными и инерционными свойствами.

Таким образом, цель данной работы – определить границы применимости приведенных выше подходов при моделировании аварийной посадки самолета.

В ходе работы были решены следующие задачи:

• Построены КЭМ подробной, упругой балочной и жесткой модели исследуемого самолета;

• Проведены расчеты посадок при различных вертикальных и горизонтальных скоростях, с различными углами тангажа и угловыми скоростями;

• Проведено сравнение и даны границы применимости каждого из подходов.

[1] Авиационные правила часть 25, «Нормы лётной годности самолётов транспортной категории», Межгосударственный авиационный комитет, 2015 г.;

[2] Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes CS-25, European Union Aviation Safety Agency, 10 January 2020;

[3] Federal Aviation Regulations Part 25: Airworthiness Standards: Transport Category, Federal Aviation Administration.

Determining the applicability limits of different accuracy models when analyzing the loads on the landing gear during landing

Shelkov K.A., Trifonov R.D., Perepechaev S.A., Boykov A.A.
MAI, Moscow, Russia

Numerical analysis of the global finite element model (FEM) of the designed aircraft using the finite element method (FEM) are used to find loads for further design and analysis of bungled landings. Also, the need for such analyzes arises due to the requirements of paragraph 25.721 of the Aviation Rules [1], as well as its foreign analogues [2,3], according to which, when designing modern civil aircraft of the transport category the absence of fuel leakage from any part of the fuel system in a quantity sufficient to cause a fire hazard in the event of the main landing gear hinge points

destruction during an emergency landing must be ensured. There are several approaches to creation of such FEM models:

• Building a detailed global model – all aircraft units are designed using solid and shell elements. This approach is the most accurate, but the preparation of such FEM models is labor-intensive and their calculation requires large computing power;

• Construction of an elastic beam global model – areas of interest are modeled using solid and shell elements, and other aircraft units, such as fuselage compartments and wing parts, are modeled with beam elements with generalized properties. With this approach, the stiffness and inertial properties of aircraft units are preserved, and at the same time, such models require fewer computing resources;

• Construction of a rigid beam global model – areas of interest are interconnected by absolutely rigid links. The least labor-intensive approach, but for certain design cases it can give a large error due to the neglection of stiffness and inertial properties.

Thus, the purpose of this work is to determine the limits of applicability of the above approaches in modeling of an aircraft bungled landing.

During the work the following tasks were solved:

• Detailed, elastic beam and rigid FEM models of the aircraft under study were made;

• Landings were simulated at different vertical and horizontal speeds, with different pitch angles and angular speeds;

• A comparison was made and the limits of applicability of each of the approaches were given.

[1] Aviation Regulations Part 25, “Airworthiness Standards for Transport Category Aircraft”, Interstate Aviation Committee, 2015;

[2] Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Airplanes CS-25, European Union Aviation Safety Agency, 10 January 2020;

[3] Federal Aviation Regulations Part 25: Airworthiness Standards: Transport Category, Federal Aviation Administration.

FEM, global model, bungled landing, landing gear

Актуальные задачи при расчетах и проектировании панелей анизотропной структуры для конструкции кессона самолета малой грузоподъемности

Митрофанов О.В., Шкурин М.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Конкурентоспособность авиационной техники во многом определяется весовой эффективностью конструкции [1]. При создании таких конструкций возникает необходимость в аналитических расчетах геометрически нелинейных задач для панелей анизотропной структуры. Предметом данной работы являются анизотропные прямоугольные панели крыла обратной стреловидности самолета малой грузоподъемности, для которых рассмотрена задача исследования напряженно-деформированного состояния поверхностных дефектов анизотропной структуры, а также задача определения толщин.

В первом случае рассмотрены некоторые геометрически нелинейные задачи для определения напряженно - деформированного состояния поверхностных дефектов. Приведены аналитические решения, полученные методом Бубнова – Галеркина, для сжатых анизотропных панелей при различных граничных условиях.

Во втором случае предложена методика определения толщин анизотропных панелей при допустимости начального этапа закритического поведения при нагрузках, близких к расчетному уровню нагружению. При использовании аналитического решения геометрически нелинейной задачи для сжатой шарнирно опертой панели получено нелинейное уравнение относительно толщины панели. Также в указанном случае проведен анализ по определению потенциально критических мест, в которых реализуются максимальные по модулю напряжения при возможной потери устойчивости. В работе предложена методика проектирования анизотропных панелей, которая соответствует методологии проектирования по закритическому состоянию [2] при условии достижения предельных мембранных напряжений при геометрически нелинейном поведении.

Также в работе сформулированы некоторые актуальные прикладные задачи, которые могут быть решены в рамках развития указанных выше направлений по расчетам и проектированию панелей анизотропной структуры.

Литература:

1. Цифровые технологии в жизненном цикле Российской конкурентоспособной авиационной техники / А. Г. Братухин, С. А. Серебрянский, Д. Ю. Стрелец [и др.]. – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020. – 448 с. – ISBN 978-5-4316-0694-6. – EDN ZGQVGN.

2. Митрофанов О.В. Прикладные методы проектирования несущих панелей из композитных материалов. –М.: Компания Спутник+, 2003. –240 с.

Current problems in calculations and design of panels of anisotropic structure for the design of a low-load aircraft caisson

Mitrofanov O.V., Shkurin M.V.

MAI, Moscow, Russia

The competitiveness of aviation technology is largely determined by the weight efficiency of the structure [1]. When creating aircraft structures, there is a need for analytical calculations of geometrically nonlinear problems for panels with an anisotropic structure. The subject of this work is anisotropic rectangular panels, for which the following problems are considered. First, surface defects of an anisotropic structure loaded with compressive forces. Secondly, the load-bearing panels of the anisotropic structure of the reverse-swept wing of a light-lift aircraft.

In the first case, some geometrically nonlinear problems are considered to determine the stress-strain state of surface defects. Analytical solutions obtained by the Bubnov-Galerkin method for compressed anisotropic panels under various boundary conditions are presented.

In the second case, a method is proposed for determining the thicknesses of anisotropic panels with the admissibility of the initial stage of post-buckling behavior under loads close to the calculated loading level. Using the analytical solution of a geometrically nonlinear problem for a compressed hinged panel, a nonlinear equation is obtained for the thickness of the panel. Also, in this case, an analysis was carried out to determine potentially critical places in which the maximum stresses in modulus are realized with a possible loss of stability. The paper proposes a method for designing anisotropic panels, which corresponds to the design methodology for the post-buckling state [2], provided that the limiting membrane stresses are reached with geometrically nonlinear behavior.

Also, the paper formulates some relevant applied problems that can be solved within the framework of the development of the above directions for the calculations and design of anisotropic structure panels.

References:

1. Digital technologies in the life cycle of Russian competitive aviation equipment / A. G. Bratukhin, S. A. Serebryansky, D. Yu. Strelets et al. - Moscow: Moscow Aviation Institute (National Research University), 2020. - 448 p. – ISBN 978-5-4316-0694-6. – EDN ZGQVGN.

2. Mitrofanov O.V. Applied methods for designing load-bearing panels made of composite materials. –M.: Sputnik+ Company, 2003. –240 p.

Параметрическая идентификация линейной модели продольного движения самолета и построение адаптивного регулятора на принципе обратной динамики

Щербаков А.И.

МАИ, г. Москва, Россия

В докладе рассматривается построение самонастраивающейся (или адаптивной) системы управления, построенной на принципе нелинейной обратной динамики. Описывается алгоритм идентификации, основанный на принципах линейной алгебры и регрессионного анализа, который позволяет вычислять параметры динамики самолета в режиме реального времени.

Приводятся результаты экспериментальных исследований, полученных путем выполнения экспериментов на пилотажном стенде. Результаты показывают, что:

• Предложенный алгоритм идентификации позволяет получать достоверную линеаризованную модель продольного движения самолета в режиме реального времени;

• Рассматриваемый регулятор обеспечивает динамику самолета по угловой скорости тангажа, близкую к апериодическому звену;

• Подстройка коэффициентов обратных связей в режиме реального времени обеспечивает высокий уровень робастности;

Экспериментальные исследования производились на пилотажном стенде МАИ, объектом управления являлась нелинейная модель перспективного сверхзвукового пассажирского самолета. Показано, что предложенный адаптивный закон управления обеспечивает высокую точность выполнения задач пилотирования. Дополнительно проведена серия экспериментов по оценке робастности, включающая в себя выполнение задач пилотирования в условиях возникновения отказов. Подстройка коэффициентов системы управления в режиме реального времени делает возможным продолжать выполнение задачи в случае изменения динамики объекта управления.

Литература:

1. А. В. Ефремов, «Система самолет-летчик. Закономерности и математические модели поведения летчика», М.: Издательство МАИ, 2017, 196 с.

2. Wang, Xuerui & Van Kampen, Erik-Jan & Chu, Q. & Lu, Peng. (2018). Stability Analysis for Incremental Nonlinear Dynamic Inversion Control. 10.2514/6.2018-1115. 2018 AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference. DOI:10.2514/6.2018-1115

3. Advanced aircraft flight control using nonlinear inverse dynamics. December 1994. IEE Proceedings - Control Theory and Applications 141(6):418 – 426 DOI:10.1049/ip-cta:19941580

4. А. В. Ефремов и др. «Летчик как динамическая система», Москва, Машиностроение, 343 стр., 1992

5. L. Rundqwist and R. Hillgren, “Phase compensation of rate limiters in JAS 39 Gripen,” AIAA paper 96-3368, 1996.

Parametric identification of a linear model of the longitudinal motion of an aircraft and designing of an adaptive controller based on the principle of dynamic inversion

Scherbakov A.I.

MAI, Moscow, Russia

The report discusses the designing of a self-tuning (or adaptive) control system based on the principle of nonlinear dynamic inversion. An identification algorithm based on the principles of linear algebra and regression analysis which makes it possible to calculate the aircraft dynamics parameters in real time is described.

The results of experimental studies obtained by performing experiments on a ground-based simulator are presented. The results show that:

• The proposed identification algorithm allows to obtain a reliable linearized model of the longitudinal movement of the aircraft in real time;

• The controller under consideration provides the dynamics of the aircraft in terms of the angular rate of pitch, close to the aperiodic link;

• Adjustment of feedback coefficients in real time provides a high level of robustness;

Experimental studies were carried out on the MAI ground-based simulator, the controlled element dynamics was a nonlinear model of a supersonic passenger aircraft. It is shown that the proposed adaptive controller provides high accuracy in tasks. In addition, a series of experiments was carried out to assess the robustness, including the performance of tasks in the conditions of failures. Adjustment of the coefficients of the control system in real time makes it possible to continue the task in case of changes in the dynamics of the control object.

References:

1. A. V. Efremov, “Aircraft-pilot system. Regularities and Mathematical Models of the Pilot’s Behavior”, M.: MAI Publishing House, 2017, 196 p.

2. Wang, Xuerui & Van Kampen, Erik-Jan & Chu, Q. & Lu, Peng. (2018). Stability Analysis for Incremental Nonlinear Dynamic Inversion Control. 10.2514/6.2018-1115. 2018 AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference. DOI:10.2514/6.2018-1115
3. Advanced aircraft flight control using nonlinear inverse dynamics. December 1994. IEE Proceedings - Control Theory and Applications 141(6):418 – 426
4. A. V. Efremov et al. “Pilot as a dynamic system”, Moscow, Mashinostroenie, 343 pages, 1992
5. L. Rundqwist and R. Hillgren, “Phase compensation of rate limiters in JAS 39 Gripen,” AIAA paper 96-3368, 1996.

Методика многодисциплинарной оптимизации параметров малоразмерных беспилотных летательных аппаратов с электрической силовой установкой схемы «летающее крыло»

Эспиноса Барсенас О.У., Лукьянов О.Е., Гуерра Г.Д.
Самарский университет, г. Самара, Россия

Представлена методика многодисциплинарной оптимизации основных параметров малоразмерных беспилотных летательных аппаратов с электрической силовой установкой схемы «летающее крыло». Задача выбора основных параметров облика летательного аппарата с комплексным учётом весовой и аэродинамической эффективности сформулирована в терминах нелинейного математического программирования. В качестве целевой функции рассматривается взлётная масса с учётом комплекса ограничений, включающих в себя требования по запасу продольной статической устойчивости и управляемости в канале тангажа, условия балансировки и уравновешивания в вертикальной плоскости на различных этапах полёта. Расчёт взлётной массы выполняется с помощью уравнения существования самолёта, являющейся функцией-свёрткой показателей весового и аэродинамического совершенства. Проектными переменными являются геометрические характеристики крыла и его профиля, а также полётные условия. Для минимизации целевой функции был применён процесс оптимизации на основе штрафных функций с использованием эволюционного дифференциального алгоритма и метода экспоненциального сокращения численности популяции (Э-СКП). Использование данного метода оптимизации позволило включить взлётную массу самолёта в разряд параметра оптимизации с целью исключить необходимость выполнения итерационного решения уравнения существования на каждом шаге оптимизации и повысить таким образом производительность алгоритма. Выполнена верификация математических моделей. Методика апробирована на примере решения типичные проектных задач начальных стадий проектирования: модернизация существующего БПЛА, исследование влияния изменения величины полезной нагрузки, продолжительность полёта и степени запаса продольной статической устойчивости БПЛА на его оптимальные параметры, аэродинамические характеристики и его взлётную массу.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Программы развития Самарского национального исследовательского университета на 2021–2030 годы в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».

Multidisciplinary Optimization Methodology For Conceptual Design Of Electrical Flying-Wing Micro Unmanned Aerial Vehicle

Espinosa Barcenas O.U., Lukyanov O.E., Guerra G.D.
Samara University, Samara, Russia

This work is presented a multidisciplinary analysis and optimization method for conceptual designing of electrical flying-wing micro unmanned aerial vehicles (UAV). The conceptual design task was formulated as a non-linear mathematical programming problem. The take-off weight is considered as the objective function subject to aerodynamics, stability and control, and balance constraints. The calculation of the take-off weight involves aerodynamic, propulsion, and weight disciplines, the last joint all involve disciplines with the sizing equation. The design variables are wing and airfoil geometrical characteristics, and flight conditions. A penalty-based optimization process was applied for minimizing the objective function using an evolutionary differential

algorithm along with an exponential population size reduction (E-PSR) technique. During the optimization process was introduced the take-off weight as an optimization parameter, this allowed us to solve the sizing equation with the optimization process (without the need for an extra iteration process for the equation convergence) by narrowing the upper and lower take-off parameter values after each iteration. The method was verified by performing an aerodynamic mesh independence study, comparing the optimization solution for the trimming of the UAV against the geometrical solution, exploring the design space utilizing the surface response method and Gauss-Seidel method, assessing the E-PSR algorithm, and evaluating the deviation of the objective function. Typical examples of solving conceptual design problems were considered in the work: the modernization of an existing UAV, the effect of the change of the payload and endurance change on the takeoff weight, and the influence of different static margins on the aerodynamic characteristics.

This research was funded by Samara National Research University Development Program for 2021–2030 as part of the Strategic Academic Leadership Program “Priority 2030”, grant number PR-NU 2.1-01-2022.

2. Авиационные, ракетные двигатели и энергетические установки

2. Aviation and rocket engines and power installations

Исследование эффективности теплообменных аппаратов различных конструкций, спроектированных для производства с помощью селективного лазерного спекания

Агапов А.В., Ионов А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

В рамках продолжения уже проведенных исследовательских работ [1-3], было решено перепроектировать конструкцию воздухо-воздушного теплообменного аппарата (ВВТ) и исследовать измененную конструкцию и влияние регулярных структур.

При проектировании новой конструкции теплообменного аппарата (ТА) использовались результаты, полученные в работе [4]. В данной работе исследовались два типа трубчатого ВВТ, с цилиндрическими и овальными трубками, имеющими одинаковую площадь поперечного сечения их внутренних каналов и одинаковую толщину стенок, а также проведено исследование применения для ВВТ овальных трубок с интенсификаторами. Недостатком этой работы является то, что полученные результаты не были исследованы на целом модуле ВВТ, т.е. не проводилось математическое моделирование работы модуля ВВТ с трубками предлагаемой конструкции. Перепроектированный ВВТ предполагается производить с применением аддитивных технологий [1], поэтому с учетом результатов, полученных в работе [4], геометрических ограничений накладываемых условиями размещения модулей ВВТ и ограничений накладываемых технологией селективного лазерного спекания был спроектирован вариант конструкции модуля ВВТ с овальными трубками, а проставочные элементы были заменены на пластинчатые, расположенные по высоте ВВТ. В связи с переходом от цилиндрических трубок к овальным понадобилось также изменить и фланец крепления ВВТ к корпусу камеры сгорания. Для полученной конструкции были проведены гидрогазодинамические расчеты, сопряженные с теплообменном. Результаты расчетов показывают, что у новой конструкции теплообмен проходит более эффективно.

По аналогии с работой [6] было также решено исследовать влияние интенсификаторов внутреннего потока. Были спроектированы регулярные структуры нескольких видов (колонны и пластины, располагающиеся во внутреннем объеме трубки) с помощью программного комплекса nTopology и проведено математическое моделирование течения внутри трубки с этими интенсификаторами. По результатам расчета можно сделать вывод, что наиболее эффективной оказались два ряда интенсификаторов пластинчатой формы, расположенных зеркально относительно оси трубки. С данной конфигурацией обеспечиваются наименьшие потери давления внутри трубки, при этом увеличивается эффективность теплообмена.

1) Агапов А.В., Ионов А.В., Селиверстов С.Д., Стародумов А.В., Вавилкин О.Н. Исследование применимости селективного лазерного сплавления в модернизации трубчатого воздухо-воздушного теплообменника // Авиация и космонавтика. Тезисы 20-ой Международной конференции. Москва, 2021. С. 88-90.

2) Агапов А.В., Селиверстов С.Д. Перспективные конструкции и методики проектирования теплообменных аппаратов изготавливаемых с применением аддитивных технологий // XLVII Гагаринские чтения 2021. Сборник тезисов работ XLVII Международной молодёжной научной конференции. Москва, 2021. С. 114-115.

3) Агапов А.В., Ионов А.В. Применение материалов и методов аддитивных технологий в проектировании и изготовлении элементов газотурбинных двигателей // НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ XXI ВЕКА: РАЗРАБОТКА, ДИАГНОСТИКА, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ. материалы I Международной молодёжной научной конференции. Москва, 2020. С. 6-17.

4) Аббаварам Ревант Редди. Конструктивные методы повышения интенсивности охлаждения и снижения гидравлического сопротивления компактных воздухо-воздушных теплообменников, устанавливаемых в наружном контуре турбореактивных авиационных двигателей // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук Москва – 2018.

Investigation of the efficiency of heat exchangers of various designs designed for production using selective laser sintering

Agapov A.V., Ionov A.V.
MAI, Moscow, Russia

As part of the continuation of the research already carried out [1-3], it was decided to redesign the design of the air-to-air heat exchanger and investigate the modified design and the influence of regular structures.

When designing a new design of the heat exchanger (TA), the results obtained in [4] were used. In this paper, two types of tubular BBT were studied, with cylindrical and oval tubes having the same cross-sectional area of their internal channels and the same wall thickness, and a study was conducted on the use of oval tubes with intensifiers for BBT. The disadvantage of this work is that the results have not been studied on the whole module of the IWT, i.e. no mathematical modeling of the operation of the VVT module with tubes of the proposed design was carried out. The redesigned IWT is supposed to be produced using additive technologies [1], therefore, taking into account the results obtained in the work [4], the geometric limitations imposed by the conditions of placement of the IWT modules and the limitations imposed by the selective laser sintering technology, a variant of the design of the IWT module with oval tubes was designed, and the spacer elements were replaced with plate elements located at the height of the IWT. In connection with the transition from cylindrical to oval tubes, it was also necessary to change the flange of the attachment of the BBT to the body of the combustion chamber. Hydro-gas dynamic calculations coupled with a heat exchanger were carried out for the resulting design. The calculation results show that the new design has a more efficient heat exchange.

By analogy with the work [6], it was also decided to investigate the influence of internal flow intensifiers. Regular structures of several types (columns and plates located in the inner volume of the tube) were designed using the nTopology software package and mathematical modeling of the flow inside the tube with these intensifiers was carried out. Based on the calculation results, it can be concluded that the most effective were two rows of plate-shaped intensifiers located mirror-like relative to the axis of the tube. With this configuration, the smallest pressure losses inside the tube are ensured, while increasing the efficiency of heat exchange.

1) Agapov A.V., Ionov A.V., Seliverstov S.D., Starodumov A.V., Vavilkin O.N. Research of applicability of selective laser fusion in modernization of tubular air-to-air heat exchanger // Aviation and Cosmonautics. Abstracts of the 20th International Conference. Moscow, 2021. pp. 88-90.

2) Agapov A.V., Seliverstov S.D. Promising designs and methods of designing heat exchangers manufactured using additive technologies // XLVII Gagarin readings 2021. Collection of abstracts of the XLVII International Youth Scientific Conference. Moscow, 2021. pp. 114-115.

3) Agapov A.V., Ionov A.V. Application of materials and methods of additive technologies in the design and manufacture of elements of gas turbine engines // NEW MATERIALS of the XXI CENTURY: DEVELOPMENT, DIAGNOSTICS, USE. materials of the I International Youth Scientific Conference. Moscow, 2020. pp. 6-17.

4) Abbavaram Revant Reddy. Constructive methods of increasing the cooling intensity and reducing the hydraulic resistance of compact air-to-air heat exchangers installed in the outer circuit of turbojet aircraft engines // Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences Moscow – 2018.

Метрологическое обеспечение определения осевых нагрузок, действующих на опоры роторов газотурбинных двигателей

Афанасьев В.А., Архицкая К.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Работа направлена на исследование методики измерения осевых сил, действующих на конструкцию шарикоподшипника, установленного в опоре ротора газотурбинного авиационного двигателя (ГТД), с использованием динамометрических колец (ДК).

Получение достоверной измерительной информации о величине осевой нагрузки необходимо для расчёта долговечности радиально-упорного шарикоподшипника, обеспечивающей его работоспособность в пределах ресурса двигателя.

Сила, действующая на шарикоподшипниковые опоры, определяется по результату суммирования осевой силы от компрессора и осевой силы от турбины.

Определение количественных значений осевых нагрузок (сил) стандартным средством измерения (СИ) в настоящее время не существует. Методика определения осевых сил подобных испытаний включает в себя внесение в конструкцию опоры ротора опытного экземпляра ГТД специально разработанной конструкции «кольца». ДК выполняет функцию чувствительного элемента.

Результат испытаний обязательно содержит:

1) величину погрешности его определения;

2) номинальные значения параметров условий испытаний;

3) действительные или допустимые характеристики погрешности задания параметров условий испытаний с ссылкой на документ, где они указаны.

За погрешность испытания объекта принимается разность между результатом измерения параметра, определяемого при испытании продукции при фактических условиях испытания, и истинным значением определяемого параметра, которое он имел бы при условиях испытания, точно равных номинальным значениям или тем значениям, при которых требуется определить параметры продукции.

Метод использования ДК имеет погрешность, которая является сложной совокупностью погрешностей от составляющих измерительной системы.

С учётом метрологических характеристик современных средств измерений, позволил получить следующие результаты:

1) Предложена методика оценки относительной погрешности измерительной системы;

2) Определены основные источники погрешностей;

3) Приведена оценка суммарной погрешности измерения осевой силы, действующей на шарикоподшипник в опоре ротора ГТД.

Литература:

1. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели. Пермь: Изд-во ОАО «Авиадвигатель», 2007 168 с.

2. Афанасьев В.А., Жигунов М.М., Ланшин А.И. и др. Экспериментальная отработка и сертификационные испытания авиационных двигателей. М.: Изд-во МАИ, 2021 456 с.

3. Володин Н.М., Каминский В.В., Мишин Ю.Н., Захаров Ю.В. Наклеиваемый полупроводниковый тензорезистор: Патент РФ №2481669/С2, Бюл. №13– Химки: Изд-во Федеральное государственное унитарное предприятие "Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина", 2012 9 с.

Metrological support for determining axial directions, increase in the bearings of the rotors of gas turbine engines

Afanasyev V.A., Arkhitskaya K.A.

MAI, Moscow, Russia

The work is aimed at studying the methodology for measuring axial forces, identifying the observation of a ball bearing installed in the rotor support of a gas turbine aircraft engine (GTE), using torque rings (DK).

Obtaining reliable measuring information about the value of the axial load is necessary for calculating the durability of an angular contact ball bearing, which ensures its performance within the limits of the engine resource.

The force acting on the ball bearings is determined by the sum of the axial force from the compressor and the axial force from the turbine.

Determining the quantitative values of axial loads (forces) by a standard measuring instrument (SI) does not currently exist. The method for determining the axial forces of such tests includes the introduction of a specially designed "ring" design into the design of the rotor support of the GTE prototype. DC performs the function of a sensitive element.

The test result must contain:

1) the magnitude of the error in its determination;

2) nominal values of test conditions parameters;

3) the actual or permissible characteristics of the error in setting the parameters of the test conditions with reference to the document where they are indicated.

The test error of an object is the difference between the measurement result of a parameter determined during product testing under actual test conditions and the true value of the parameter being determined, which it would have under test conditions that are exactly equal to the nominal values or those values at which it is required to determine the product parameters.

The method of using DC has an error, which is a complex set of errors from the components of the measuring system.

Aking into account the metrological characteristics of modern measuring instruments, it made it possible to obtain the following results:

1) A method for estimating the relative error of the measuring system is proposed;

2) The main sources of errors are identified;

3) An estimate of the total measurement error of the axial force acting on the ball bearing in the GTE rotor support is given.

Refereces:

1. Inozemtsev A.A., Sandratsky V.L. gas turbine engines. Perm: Publishing House of Aviadvigatel OJSC, 2007, 168 p.

2. Afanasiev V.A., Zhigunov M.M., Lanshin A.I. and others. Experimental development and certification testing of aircraft engines. M.: MAI Publishing House, 2021 456 p.

3. Volodin N.M., Kaminsky V.V., Mishin Yu.N., Zakharov Yu.V. Pasted semiconductor strain gauge: RF Patent No. 2481669/C2, Bull. No. 13 - Khimki: Publishing House of the Federal State Unitary Enterprise "Scientific and Production Association named after S.A. Lavochkin", 2012 9 p.

Математическое моделирование переходных процессов в газотурбинном двигателе с учетом влияния внешних возмущений в Simcenter Amesim

Алпатов И.В., Боровиков Д.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Современная тенденция развития методик проектирования авиационных газотурбинных двигателей направлена на все более глубокое применение комплексных математических моделей, которые позволяют добиться высокого уровня достоверности и качества результатов при уменьшении затрат времени на этапе проектировочных расчетов. На данный момент активно развиваются методики, позволяющие учитывать влияние переходных процессов в двигателе и внешних возмущений на его характеристики в течении полетного цикла [1,2].

В данной работе сделан упор на математическое моделирование переходных процессов в ГТД, построена динамическая имитационная математическая модель малоразмерного ГТД с использованием инструментов визуального программирования в программной среде Simcenter Amesim. В математической модели задавалась программа управления температурой газа от времени и внешние условия. Для поддержания заданной температуры газа использовался ПИД регулятор.

Рассмотрены результаты математического моделирования работы ГТД в процессе изменения режимов работы при дросселировании двигателя, а также результаты математического моделирования с условием поддержания заданного режима работы двигателя в условиях возмущений давления и температуры на входе, которые добавлялись к давлению и температуре соответствующим заданным условиям полета.

В работе рассмотрена методика математического моделирования переходных процессов в газотурбинных двигателях с учетом внешних возмущений. Получены результаты математического моделирования работы ГТД при переходных режимах и в условиях внешних возмущениях. Предложенная методика позволяет повысить точность математического моделирования работы ГТД при выполнении полетных задач.

1. Арутюнов, Г. С. Влияние нестационарных неравномерных возмущений температуры торможения на газодинамическую устойчивость течения в многоступенчатом осевом компрессоре одноконтурного ТРД / Г. С. Арутюнов, С. Е. Краснов // Авиационные двигатели. – 2022. – № 1(14). – С. 33-42. – DOI 10.54349/26586061_2022_1_33. – EDN RMVFRE.

2. Краснов, С. Е. Математическое моделирование процессов нарушения устойчивости течения в ГТД / С. Е. Краснов // Авиационные двигатели. – 2021. – № 4(13). – С. 85-101. – DOI 10.54349/26586061_2021_4_85. – EDN NXRRMK

Mathematical modeling of transient processes in a gas turbine engine taking into account the influence of external disturbances in Simcenter Amesim

Alpatov I.V., Borovikov D.A.
MAI, Moscow, Russia

The current trend in the development of methods for designing aviation gas turbine engines is aimed at an ever-deeper application of complex mathematical models that allow achieving a high level of reliability and quality of results while reducing the time spent at the stage of design calculations. At the moment, methods are being actively developed to take into account the influence of transient processes in the engine and external disturbances on its characteristics during the flight cycle [1,2].

In this paper, emphasis is placed on the mathematical modeling of transient processes in the gas turbine engine, a dynamic simulation mathematical model of a small-sized gas turbine engine is constructed using visual programming tools in the Simcenter Amesim software environment. In the mathematical model, a program for controlling the gas temperature from time and external conditions was set. A PID controller was used to maintain the set gas temperature.

The results of mathematical modeling of the gas turbine engine operation in the process of changing operating modes during engine throttling, as well as the results of mathematical modeling with the condition of maintaining a given engine operating mode under conditions of pressure and temperature disturbances at the inlet, which were added to the pressure and temperature corresponding to the specified flight conditions, are considered.

The paper considers the methodology of mathematical modeling of transient processes in gas turbine engines taking into account external disturbances. The results of mathematical modeling of the GTE operation under transient conditions and under conditions of external disturbances are obtained. The proposed technique makes it possible to increase the accuracy of mathematical modeling of the work of the gas turbine engine when performing flight tasks.

1. Arutyunov, G. S. Influence of non-steady non-uniform total temperature disturbances on the gas-dynamic stability of the flow in a dual axial compressor of turbojet / G. S. Arutyunov, S. E. Krasnov // Aviation engines. – 2022. – № 1(14). – Pp. 33-42. – DOI 10.54349/26586061_2022_1_33. – EDN RMVFRE.

2. Krasnov, S. E. Mathematical modeling of the processes of flow stability disruption in GTE / S. E. Krasnov // Aviation engines. – 2021. – № 4(13). – Pp. 85-101. – DOI 10.54349/26586061_2021_4_85. – EDN NXRRMK.

Применение моделей коллективного поведения при реализации системы управления газотурбинным двигателем

[1]Андриевский О.А., [3]Андриевская Н.В., [2]Соколов П.В.
[1]АО «Силовые машины», [2]ЛЭТИ, г. Санкт-Петербург, Россия
[3]ПНИПУ, г. Пермь, Россия

Система управления газотурбинным двигателем (ГТД) является многоконтурной, многомерной и многосоюзной. Кроме основных параметров управления, таких как частота

вращения вентилятора и ротора высокого давления, в системе управления должны поддерживаться и другие параметры: температура и давление топлива в камере сгорания, давление в компрессорах низкого и высокого давления и другие [1, 2, 3]. Работа контуров управления двигателями регламентируется селектором, который анализируя отклонения параметров, управляет подачей топлива. [3, 4]. Основная функция селектора – это выбор «значимого» выхода контура управления для формирования управляющего сигнала по подаче топлива в камеру сгорания. [4, 5].

Выход селектора (метка селектора) определяет главным тот контур, который окажется близким к сигналу

Например, при управлении ГТД путем изменения расхода топлива в камере сгорания на максимальных режимах работы двигателя, для того чтобы все регулируемые параметры не превысили максимальных допустимых значений (ограничение сверху), селектор должен дать команду на управление дозирующим устройством (сигнал управления), соответствующий получению минимальной величины расхода топлива. С помощью селектирования по минимуму определяется очередность выполнения программ при приемистости. Если же ограничивают минимальные значения параметров (ограничения снизу), то предпочтение отдается регулятору параметров, для поддержания которого требуется наибольший расход топлива, т.е. селектирование по максимуму (селектор «max»).

Недостатком данной системы является [5]:

• Выбор только одного контура;

• Эффективная работа селектора только в статическом режиме;

• Возникновение «дребезга» в динамическом режиме - то есть переключения «близких по значению» контуров;

• Отсутствие адаптации к изменяющимся параметрам режима полета.

Альтернативой данному штатному селектору являются адаптивные селекторы, которые определяют задающее значение как результат общего вклада каждого из контуров. Это могут быть групповые или нечеткие регуляторы работы [6, 7].

В данном докладе представлен качественно новый подход, использующий пороговые модели коллективного поведения [8].

Модель порогового коллективного поведения представляет собой описание некоторого множества агентов. Каждый агент имеет возможности «действовать» или «бездействовать»: На каждого агента оказывают влияние «соседи» – другие агенты. Тогда решение i-го агента зависит от двух факторов: собственного «мнения» и влияния соседей.

Для реализации селектора модель коллективного поведения может быть использована следующим образом: агенты – это выходы контуров систем управления ГТД. Каждому выходу сопоставляется мнение – «действовать. Степень влияния агентов – это близость значений выходов контура. Тогда участие каждого контура будет отражено в виде единого относительного порога. Таким образом, будут исключены основные недостатки штатного селектора: выбор одного и только одного контура для формирования управляющего сигнала – подачи топлива и будут учтены влияния всех контуров, то есть удастся избежать конфликтов – «дребезга». Кроме того, в моделях коллективного порога можно учесть влияние других параметров ГТД и связь между этими параметрами.

Таким образом, модели коллективного поведения предоставляют достаточной большой диапазон для реализации эффективного выбора управляющего сигнала в ГТД, учитывающего свойства многосвязности и многоконтурности систем управления ГТД.

Application of Collective Behavior Models in the Implementation of a Gas Turbine Engine Control System

[1]Andrievsky O.A., [3]Andrievskaya N.V., [2]Sokolov P.V.
[1]JSC “POWER MACHINES", [2]LETI, Saint-Petersburg, Russia
[3]PNRPU, Perm, Russia

The gas turbine engine control system (GTE) is multi-loop, multi-dimensional and multi-union. In addition to the main control parameters, such as the rotational speed of the fan and the high-pressure

rotor, other parameters must be maintained in the control system: the temperature and pressure of the fuel in the combustion chamber, the pressure in low and high pressure compressors, and others [1, 2, 3]. The operation of the engine control loops is regulated by a selector, which, by analyzing parameter deviations, controls the fuel supply. [3, 4]. The main function of the selector is to select the “significant” output of the control loop for generating a control signal for supplying fuel to the combustion chamber. [4, 5].

For example, when controlling a gas turbine engine by changing the fuel consumption in the combustion chamber at maximum engine operating modes, in order for all adjustable parameters not to exceed the maximum allowable values (upper limit), the selector must give a command to control the metering device (control signal) corresponding to obtaining the minimum fuel consumption values. With the help of selection by minimum, the order of execution of programs is determined at injectivity. If the minimum values of the parameters are limited (lower restrictions), then preference is given to the parameter controller, which requires the highest fuel consumption to maintain, i.e. maximum selection (“max” selector).

The disadvantage of this system is [5]:

• Selection of only one circuit;

• Efficient operation of the selector only in static mode;

• The occurrence of "bounce" in the dynamic mode - that is, the switching of "close in value" contours;

• Lack of adaptation to changing flight mode parameters.

An alternative to this regular selector are adaptive selectors, which determine the reference value as a result of the total contribution of each of the contours. These can be group or fuzzy controllers from [6, 7].

This report presents a qualitatively new approach that uses threshold models of collective behavior [8].

The threshold collective behavior model is a description of some set of agents. Each agent has the ability to "act" or "inactive": Each agent is influenced by "neighbors" - other agents. Then the decision of the i-th agent depends on two factors: his own "opinion" and the influence of his neighbors.

To implement the selector, the collective behavior model can be used as follows: agents are the outputs of the GTE control system loops. Each output is compared with the opinion - “to act. The degree of influence of agents is the proximity of the values of the outputs of the circuit. Then the participation of each contour will be reflected in the form of a single relative threshold. Thus, the main disadvantages of the standard selector will be eliminated: the choice of one and only one circuit for generating a control signal – fuel supply, and the influence of all circuits will be taken into account, that is, conflicts – "bounce" will be avoided. In addition, in models of the collective threshold, one can take into account the influence of other GTE parameters and the relationship between these parameters.

Thus, models of collective behavior provide a sufficiently large range for the implementation of an effective choice of a control signal in a gas turbine engine, taking into account the properties of multi-connection and multi-loop control systems of gas turbine engines.

Применение цифрового двойника при разработке режимов синтеза деталей газотурбинных двигателей

Асланян Г.Г., Гусаров А.В.
МГТУ «СТАНКИН», г. Москва, Россия

Аддитивные технологии становятся все более актуальными и широко применяются в авиационной промышленности и ракетостроении в тех случаях, когда традиционные методы оказываются менее эффективными или не могут быть применены при изготовлении сложных деталей.

Несмотря на то, что номенклатура деталей, получаемых аддитивными методами, расширяется, существует необходимость в контролируемости, стандартизации и унификации аддитивного процесса получения деталей газотурбинных двигателей.

Существующие процессы разработки режимов синтеза новых материалов и последующей паспортизации заключаются как в итерационном подходе, так и в использовании методов конечно-элементного анализа. При использовании итерационного подхода, возникает одномерное рассмотрение многопараметрического процесса, которое не приближает нас к его пониманию, как следствие в отсутствие понимания процесса – возникает отсутствие повторяемости процесса. Методы конечно-элементного моделирования ограничены в способности решать нетривиальные задачи, и тем самым, предлагаемые решения ведут к удорожанию процесса: сужение диапазона гранулометрического состава порошка, 100%-ная сферичность всех частиц и т.д.

На сегодняшний день при разработке технологического процесса изготовления детали аддитивными методами применяется строгая последовательность: порошок – установка – режим – деталь. Любое отклонение, нарушение этой связки приводит к следующим последствиям:

• Отсутствие возможности повторить процесс синтеза изделия на другой машине (даже на той же модели, но иного поколения), аналогичном порошке от другого производителя и т.д.;

• Замедляется процесс внедрения аддитивных деталей в авиационную технику;

• Рост стоимости конечного изделия за счёт строгой привязки изделия к конкретной модели 3D принтера;

• Увеличение сроков освоения установок.

В данной работе предложен новый подход к разработке режимов синтеза деталей газотурбинных двигателей, заключающийся в создании цифрового двойника аддитивных процессов получения деталей газотурбинных двигателей. При этом предполагается, используя методы «black box optimization», выстроить модели, происходящих процессов с возрастающей точностью: чем больше разнообразных данных, тем точнее модель.

В качестве примера по данному принципу был разработан режим синтеза детали дефлектор из сплава 12Х18Н10Т. Детали, полученные по разработанному режиму, характеризовались отсутствием дефектов в структуре, удовлетворительной шероховатостью поверхностей.

Таким образом, внедрение цифровых двойников, унификация методологии входного контроля, выходного контроля синтезированных деталей в одной платформе позволит не только получать детали газотурбинных двигателей лучшего качества, но и совершенствовать в реальном времени математические модели.

The use of a digital twin in the development of synthesis modes for gas turbine engine parts

Aslanian G.G., Gusarov A.V.
MSUT “STANKIN”, Moscow, Russia

Additive technologies are becoming more and more relevant and are widely used in the aviation industry and rocket engineering in cases where traditional methods are less effective or cannot be applied in the manufacture of complex parts.

Despite the fact that the range of parts obtained by additive methods is expanding, there is a need for controllability, standardization and unification of the additive process of obtaining gas turbine engine parts.

The existing processes of developing modes of synthesis of new materials and subsequent certification consist both in an iterative approach and in the use of finite element analysis methods. When using an iterative approach, a one–dimensional consideration of a multiparametric process arises, which does not bring us closer to understanding it, as a result, in the absence of understanding of the process, there is a lack of repeatability of the process. Finite element modeling methods are limited in their ability to solve non-trivial problems, and thus, the proposed solutions lead to an increase in the cost of the process: narrowing of the range of granulometric composition of the powder, 100% sphericity of all particles, etc.

To date, when developing the technological process of manufacturing parts by additive methods, a strict sequence is used: powder – installation – mode – part. Any deviation, violation of this ligament leads to the following consequences:

• The inability to repeat the process of product synthesis on another machine (even on the same model, but of a different generation), a similar powder from another manufacturer, etc.;
• The process of introducing additive parts into aviation equipment slows down;
• The increase in the cost of the final product due to the strict binding of the product to a specific 3D printer model;
• Increase in the terms of development of installations.

In this paper, a new approach to the development of synthesis modes for gas turbine engine parts is proposed, which consists in creating a digital twin of additive processes for obtaining gas turbine engine parts. At the same time, it is assumed, using the methods of "black box optimization", to build models of the processes taking place with increasing accuracy: the more diverse the data, the more accurate the model.

As an example, according to this principle, the synthesis mode of the deflector part made of 12H18N10T alloy was developed. The parts obtained according to the developed mode were characterized by the absence of defects in the structure, satisfactory surface roughness.

Thus, the introduction of digital twins, the unification of the methodology of input control, output control of synthesized parts in one platform will allow not only to obtain parts of gas turbine engines of the best quality, but also to improve mathematical models in real time.

Экспериментальные исследования высокочастотного ионного двигателя с электродами ионно-оптической системы, изготовленными из углерод-углеродного композиционного материала с однородной структурой

Ахметжанов Р.В., Обухов В.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Ключевым элементом конструкции ионных двигателей (ИД) с точки зрения ресурса является ускоряющий электрод (УЭ) ионно-оптической системы (ИОС) двигателя, разрушающийся под воздействием ионов перезарядки, рождающихся в межэлектродном промежутке и в зоне нейтрализации ионного пучка [1]. Скорость эрозии УЭ зависит от коэффициента ионного распыления материала. Наиболее низкий показатель коэффициента ионного распыления у материалов на основе углерода.

Традиционные материалы на основе углерода обладают низкими значениями прочности при растяжении и модуля упругости, что создает проблемы при использовании их в качестве материала для изготовления электродов ИОС. Данная проблема решается при использовании углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ), однако УУКМ на основе тканых или нитяных армирующих каркасов имеют неоднородную структуру из-за величины элементарной ячейки (0,5-1,0 мм), что приводит к возникновению частых межэлектродных пробоев.

В АО «Композит» освоена технология производства УУКМ на основе нетканого углеродного каркаса марки Ипресскон® (УУКМ-Ипресскон) [2]. Данный конструкционный материал обладает минимально возможным для УУКМ размером структурной ячейки (10-30 мкм), что позволяет обеспечить требуемую шероховатость поверхности электродов ИОС, сопоставимую с металлическими электродами.

Для лабораторного образца высокочастотного ионного двигателя (ВЧИД) малой мощности [3] были изготовлены электроды ИОС из УУКМ-Ипресскон®. Лабораторный образец ВЧИД с электродами из УУКМ прошел исследовательские испытания продолжительностью 1000 часов. В докладе показаны основные рабочие параметры ВЧИД, полученные в ходе исследовательских испытаний.

После испытаний структура материала ускоряющего электрода ИОС была изучена с помощью электронного микроскопа. Экспериментально полученная картина эрозии поверхности электрода, обращенная к зоне нейтрализации ионного пучка, была оценена с помощью профилометра. Данная картина сравнена с полученной при расчёте в программе IOS-3D [4].

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках «Госзадания», грант FSFF-2020-0014.

Литература:
1. Akhmetzhanov R.V., Vorob'ev E.V., Dukhopel'nikov D.V., Ivakhnenko S.G., Obukhov V.A., Popov G.A., Svotina V.V., Cherkasova M.V. Procedure of Predicting the Lifetime of the Accelerating Electrode of an Ion-Extraction System of a Gas-Discharge Ion Source // Journal of Surface Investigation. Vol. 13, No. 6, 2019. pp. 1217-1224
2. R. V. Akhmetzhanov, V. V. Balashov, Ye. A. Bogachev, A. B. Yelakov, D. A. Kashirin, V. V. Svotina, O. O. Spivak, M. V. Cherkasova. An Ion Thruster Accelerating Electrode Made of Carbon-Carbon Composite Material // Thermal Engineering. Vol. 65, No. 13, 1 December 2018, pp. 986-993
3. N.N. Antropov, R.V. Akhmetzhanov, A.V. Bogatyy, R.A. Grishin, V.V. Kozhevnikov, A.P. Plokhikh, G.A. Popov, S.A. Khartov. Experimental Research of Radio-Frequency Ion Thruster // Thermal Engineering. Vol. 63, No. 13, 1 December 2016, pp. 957-963
4. A. Shagayda. Three-Dimensional Analysis of Ion Optics with Deviation of the Apertures Geometry from Axial Symmetry. IEPC-2015-188/ISTS-2015-b-188, Presented at Joint Conference of 30th International Symposium on Space Technology and Science, 34th International Electric Propulsion Conference and 6th Nano-satellite Symposium, Hyogo-Kobe, Japan, 2015.

Experimental research of radio-frequency ion thruster with electrodes of ion-extraction system, made of fine-structure carbon-carbon composite material

Akhmetzhanov R.V., Obukhov V.A.
MAI, Moscow, Russia

The critical element of the IT design from the point of view of the lifetime is the accelerating electrode of the ion-extraction system (IES) of the thruster, which is destroyed under the influence of charge-exchange ions, which are born in the interelectrode gap and in the zone of neutralization of the ion beam [1]. The erosion rate of the accelerating electrode depends on the coefficient of ion sputtering of the material. Carbon based materials have the lowest ion sputtering coefficient.

Traditional carbon-based materials have low values of tensile strength and modulus of elasticity, which causes problems when using them as the material for the manufacture of IES electrodes. This problem is solved by using carbon-carbon composite materials (CCCM), however, CCCM based on woven or thread reinforcing frames have a heterogeneous structure due to the size of the unit cell (0.5-1.0 mm), which does not allow to achieve high purity of the surface and leads to frequent interelectrode breakdown.

JSC "Kompozit" assimilated the production technology of the CCCM based on non-woven carbon frame Ipresskon® (CCCM-Ipresskon®) [2]. This constructive material has the minimum possible for CCCM size of the structural cell (10-30 microns), which allows to ensure the required roughness of the surface of the IES electrodes made from CCCM-Ipresskon®, comparable to metal electrodes.

IES electrodes were produced from CCCM-Ipresskon® for a laboratory sample of a low-power radio-frequency ion thruster (RIT) [3]. The laboratory sample of RIT with electrodes from CCCM passed research tests with duration of about a thousand hours. The paper presents the main operating parameters of RIT, taken during the tests.

After the tests, the structure of the accelerating electrode of IES was examined using an electron microscope. The experimentally obtained pattern of electrode surface erosion facing the ion beam neutralization zone was estimated using a profilometer. Such pattern was compared with the one calculated by the software package IOS-3D [4].

The works was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in the framework of "Goszadanie" grant number FSFF-2020-0014.

References:
1. Akhmetzhanov R.V., Vorob'ev E.V., Dukhopel'nikov D.V., Ivakhnenko S.G., Obukhov V.A., Popov G.A., Svotina V.V., Cherkasova M.V. Procedure of Predicting the Lifetime of the Accelerating Electrode of an Ion-Extraction System of a Gas-Discharge Ion Source // Journal of Surface Investigation. Vol. 13, No. 6, 2019. pp. 1217-1224
2. R. V. Akhmetzhanov, V. V. Balashov, Ye. A. Bogachev, A. B. Yelakov, D. A. Kashirin, V. V. Svotina, O. O. Spivak, M. V. Cherkasova. An Ion Thruster Accelerating Electrode Made of Carbon-Carbon Composite Material // Thermal Engineering. Vol. 65, No. 13, 1 December 2018, pp. 986-993

3. N.N. Antropov, R.V. Akhmetzhanov, A.V. Bogatyy, R.A. Grishin, V.V. Kozhevnikov, A.P. Plokhikh, G.A. Popov, S.A. Khartov. Experimental Research of Radio-Frequency Ion Thruster // Thermal Engineering. Vol. 63, No. 13, 1 December 2016, pp. 957-963

4. A. Shagayda. Three-Dimensional Analysis of Ion Optics with Deviation of the Apertures Geometry from Axial Symmetry. IEPC-2015-188/ISTS-2015-b-188, Presented at Joint Conference of 30th International Symposium on Space Technology and Science, 34th International Electric Propulsion Conference and 6th Nano-satellite Symposium, Hyogo-Kobe, Japan, 2015.

Разработка и валидация метода для моделирования влияния горения на турбулентный перенос, интегрированного с моделями k-ω и EPaSR

Балабанов Р.А., Власенко В.В.
ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Корректное описание турбулентного горения в различных энергетических установках требует учета взаимодействия турбулентности и горения (TCI). 1-й канал TCI связан с влиянием турбулентности на средние скорости химических реакций, 2-й – с влиянием горения на турбулентный перенос. В настоящее время разработано много методов учета 1-го канала TCI (методы моментов, функции плотности вероятности – ФПВ, флеймлетов и др.) Менее исследован 2-й канал TCI. Как правило, этот канал учитывают путем введения переменных турбулентных чисел Прандтля и Шмидта. В работах А.М.Молчанова и А.С.Тушканова (МАИ, 2013-2019) разработан подход к численному моделированию турбулентного горения в струйных течениях, в котором для учета первого канала TCI задаются ФПВ концентраций и температуры, а для учета второго канала используются идеи, восходящие к работе Nagano & Kim (1988).

Ранее (2018-2020) в Лаборатории физического и численного моделирования течений с турбулентностью и горением ЦАГИ в собственной программе zFlare для описания 1-го канала TCI была реализована модель EPaSR (расширенная модель частично перемешанного реактора), предложенная В.А.Сабельниковым (2011).

В настоящей работе представлена модель PrOm (Prandtl Omega) для учета 2-го канала TCI. Модель основана на том же подходе, что и в работах А.М.Молчанова и А.С.Тушканова, но переработана для использования в сочетании с моделями турбулентности класса k-ω. Модель требует решения 4 дополнительных дифференциальных уравнений. Было учтено ключевое влияние анизотропии на частоту турбулентных пульсаций скаляра. Вначале был реализован простейший способ замыкания химических источниковых членов в уравнениях модели PrOm, не требующий моделирования 1-го канала TCI. При описании экспериментов (Evans, Schexnaider, Beach, 1978; Burrows, Kurkov, 1973; Sumi et al, 2006) модель PrOm позволила улучшить результаты по сравнению с расчетами без учета TCI и дала близкое согласование с данными А.С.Тушканова.

Далее была предложена двухканальная модель EPaSR-PrOm, в которой метод EPaSR используется как для вычисления средних скоростей реакций, так и для замыкания уравнений модели PrOm. Новая модель применена к моделированию эксперимента Magre et al. (1988) с дозвуковым горением в канале с обратным уступом. Показано, что двухканальная модель позволяет наиболее точно описать рециркуляционную зону за уступом канала по сравнению с другими моделями класса PaSR и расчетами без учета TCI.

Development and validation of a method for simulation of the combustion influence on turbulent transport, integrated with k-ω and EPaSR models

Balabanov R.A., Vlasenko V.V.
TsAGI, Zhukovsky, Russia

Correct description of turbulent combustion for various energetic devices requires taking into account the Turbulence-Combustion Interaction (TCI). 1st channel of TCI is associated with impact of turbulence on mean reaction rates, and 2nd channel – with influence of combustion on turbulent transport. Many models for 1st channel of TCI were developed by now (methods of moments, of probability density function – PDF, of flamelets, etc.) 2nd channel of TCI was studied to a lesser

extent. Most frequently, this channel is described by applying variable turbulent Prandtl and Schmidt numbers. In studies by A.M. Molchanov and A.S. Tushkanov (MAI, 2013-2019), an approach to numerical simulation of turbulent combustion in jet flows was developed, where 1st channel of TCI is considered by prescribed PDFs of fractions and temperature, and 2nd channel of TCI is accounted using ideas, going back to Nagano & Kim (1988).

Previously (2018-2020), in Laboratory of physical and numerical modeling of flows with turbulence and combustion (TsAGI), EPaSR (Extended Partially Stirred Reactor) model was implemented into zFlare in-house code to describe 1st channel of TCI. The model was proposed by V.A. Sabelnikov (2011).

To consider 2nd channel of TCI, a new model PrOm (Prandtl Omega) is presented in this work. It utilizes the same approach as in A.M. Molchanov and A.S. Tushkanov works, but it was revisited to use in combination with turbulence models of k-ω class. Solution of 4 additional differential equations is required. Crucial influence of anisotropy on frequency of the scalar turbulent fluctuations is taken into account. Initially, the simplest approach for chemical source closure (without modeling 1st channel of TCI) was implemented into the PrOm model equations. In simulation of experiments (Evans, Schexnayder, Beach, 1978; Burrows, Kurkov, 1973; Sumi et al, 2006) PrOm model allowed to improve results compared to no-TCI solutions and demonstrated close accordance with data by A.S. Tushkanov.

After that, a new dual-channel EPaSR-PrOm model was proposed. It utilizes EPaSR method both for calculating mean reaction rates and for closure of the PrOm model equations. New model is applied to simulation of experiment by Magre et al. (1988) with subsonic combustion in duct with backward step. It is shown that dual-channel model allows to describe more precisely the recirculation area near the duct step, especially in comparison with other PaSR class models and no-TCI calculations.

Лазерное зондирование поверхности и кристаллической решетки деталей двигателей с целью контроля качества

Батанов М.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Разработан метод и выведены формулы для расчета объемных диаграмм упругого рассеяния монохроматических (лазерных) лучей света на однородных и изотропных шероховатых поверхностях твердых изделий с различными статистиками высот неровно-стей. Аналитически получены объемные диаграммы рассеяния монохроматической волны светового диапазона на идеально отражающих шероховатых поверхностях деталей со следующими распределениями высот неровностей: Гаусса, равномерного, Лапласа, Коши, Леви, синусоидального и др. Также получены объемные диаграммы рассеяния волн или частиц при глубоком зондирования кристаллических решеток металлов с помощью расчетов по аналитически выведенной формуле. Полученные результаты позволяют разработать метод оценки характеристик неровностей отражающей поверхности деталей и качества их внутренней структуры. При этом получены функции плотности распределения вероятности производной различных стационарных случайных процессов, которые могут быть использованы в ряде других задач статистической физики. Помимо решения вышеуказанных практических задач, данное исследование направлено на внесение рациональной ясности в проблему, связанную с обсуждением идеи о возможном «существовании» волн де Бройля. Примененные здесь законы геометрической оптики и вероятностные методы статистической физики позволили, по мнению автора, объяснить дифракцию элементарных частиц и атомов на кристаллах без привлечения гипотезы Луи де Бройля о волнах материи.

Laser probing of the surface and crystal lattice of engine parts for the purpose of quality control

Batanov M.S.
MAI, Moscow, Russia

A method has been developed and formulas have been derived for calculating volumetric diagrams of elastic scattering of monochromatic (laser) light beams on homogeneous and iso-tropic rough surfaces of solid products with different statistics of irregularity heights. Volumetric diagrams of scattering of a monochromatic wave of the light range on perfectly reflecting rough surfaces of parts with the following distributions of irregularity heights are analytically obtained: Gaussian, uniform, Laplace, Cauchy, Levy, sinusoidal, etc. Volumetric scattering diagrams of waves or particles were also obtained during deep probing of the crystal lattices of metals using calculations using the analytically derived formula. The results obtained make it possible to develop a method for assessing the characteris-tics of the irregularities of the reflecting surface of parts and the quality of their internal structure. At the same time, the functions of the probability distribution density of the derivative of various stationary random processes are obtained, which can be used in a number of other problems of statistical physics. In addition to solving the above practical problems, this study is aimed at bringing rational clarity to the problem associated with discussing the idea of the possible "existence" of de Broglie waves. The laws of geometric optics applied here and the probabilistic methods of statistical physics made it possible, in the author's opinion, to explain the diffraction of elementary particles and atoms on crystals without resorting to Louis de Broglie's hypothesis about matter waves.

О пересчете результатов акустических измерений на открытых стендах и в летном эксперименте к условиям свободного поля

Башкатов В.В., Макашов С.Ю., Остриков Н.Н., Копьев В.Ф.
ФАУ «ЦАГИ», г. Жуковский, Россия

Стандарты ИКАО по шуму на местности для реализации ряда процедур предусматривают проведение измерений пролетного шума воздушных судов и шума двигателей на открытых стендах с помощью «приземных» микрофонов. В этих случаях микрофоны устанавливаются над поверхностью круглого стального диска диаметра 400 мм на высоте не более 7 мм или помещаются в углубления заподлицо поверхности диска, причем диск с микрофоном укладывается на травяную поверхность земли. Стальной диск используется с целью обеспечения граничного условия абсолютно жесткой поверхности для отраженного звукового поля, которое в случае близкого расположения микрофонов к поверхности приводит к удвоению амплитуды звукового давления во всем частотном диапазоне. Тем самым, данный способ измерения позволяет определить характеристики свободного звукового поля в отсутствии границ, для чего стандарты ИКАО рекомендуют использовать поправку 6 дБ к измеренному уровню звукового давления для всех 1/3 октавных частотных диапазонов.

Однако, предшествующие эксперименты показывают, что поправка 6 дБ реализуется приближенно только для частот больших 3 кГц, а для низких частот она варьируется в диапазоне от 4.5 дБ до 6 дБ. Причина этого эффекта состоит в том, что реальные условия отражения от поверхности земли не полностью соответствуют условиям абсолютно жесткой поверхности: травяная поверхность земли имеет конечный импеданс, и поэтому возможно порождение боковых волн при косом падении звуковой волны, а на краях стального диска реализуется разрыв импеданса, что приводит к порождению на них дифрагированных волн при всех углах падения звуковой волны.

В настоящей работе проведены расчетно-экспериментальные исследования указанного выше эффекта. Для расчетов был выбран численный метод конечных элементов, так как он показал хорошее совпадение с аналитическим решением для задачи об отражении звука от импедансной плоскости. Расчеты отражения звука от системы диск-земля проведены для углов падения звуковой волны в диапазоне 30º-90º от оси диска для 22 положений микрофона по отношению к диску, а экспериментальные исследования, проведенные в заглушенной камере АК-2, позволили валидировать численный метод при решении указанной задачи. Измерения, проведенные в УНУ “Заглушенная камера с потоком АК-2” ФАУ “ЦАГИ”, модернизируемой при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по соглашению №075-11-2021-066, и расчеты позволили определить требуемые поправки в диапазоне частот до 5 кГц в указанном диапазоне углов падения звуковой волны.

Исследование выполнено при частичной поддержке гранта Российского научного фонда (проект №21-71-30016).

On the recalculation of the results of acoustic measurements on open stands and in a flight experiment to free field conditions

Bashkatov V.V., Makashov S.Yu., Ostrikov N.N., Kopiev V.F.
TsAGI, Zhukovsky, Russia

For realizing a number of procedures in the ICAO standards on community noise, "ground-level" microphones are used for measuring aircraft flyover noise and engine noise on open stands. In these cases, microphones are installed above the surface of a circular steel disc with a diameter of 400 mm at a height of no more than 7 mm or placed in recesses flush with the surface of the disc, and the disc with the microphone is placed on the grass surface of the ground. A steel disc is used to provide a boundary condition of an absolutely rigid surface for the reflected sound field, which, in the case of microphones being close to the surface, leads to a doubling of the amplitude of the sound pressure in the entire frequency range. Thus, this measurement method makes it possible to determine the characteristics of a free sound field in the absence of boundaries, for which the ICAO standards recommend using a 6 dB correction to the measured sound pressure level for all 1/3 octave frequency ranges.

However, previous experiments show that the 6 dB correction is implemented approximately only for frequencies greater than 3 kHz, and for low frequencies it varies in the range from 4.5 dB to 6 dB. The reason for this effect is that the real conditions of reflection from the earth's surface do not fully correspond to the conditions of an absolutely rigid surface: the grass surface of the earth has a finite impedance, and therefore it is possible to generate side waves with an oblique incidence of a sound wave, and an impedance gap is realized at the edges of the steel disk, which leads to the generation of diffracted waves on them at all the angles of incidence of the sound wave.

In the present work, computational and experimental studies of the above effect are carried out. The numerical finite element method was chosen for the calculations, as it showed a good match with the analytical solution for the problem of sound reflection from the impedance plane. Calculations of sound reflection from the disk-earth system were carried out for the angles of incidence of the sound wave in the range of 30-90 degrees from the axis of the disk for 22 positions of the microphone relative to the disk, and experimental studies conducted in anechoic chamber AK-2 allowed validating the numerical method for solving this problem. Measurements carried out on the basis of the Unique Scientific Installation “Anechoic chamber with flow AK-2” of the Central Aerohydrodynamic Institute, modernized with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, agreement no. 075-11-2021-066, and calculations made it possible to determine the required corrections in the frequency range up to 5 kHz in the specified range of angles of incidence of the sound wave.

The study was partially supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 21-71-30016).

Топологическая оптимизация элементов привода механизации плоского реактивного сопла

Бородкин Н.М.
ОКБ им. А.Люльки, г. Москва, Россия

Задачи минимизации массы и повышения удельной прочности деталей являются одними из ключевых в аэрокосмической отрасли. Эффективным инструментом для проектирования легких и прочных конструкций является топологическая оптимизация, а аддитивные технологии позволяют реализовывать полученные формы, зачастую недоступные для классических субтрактивных методов производства.

Оптимизация топологии – это относительно новый математический метод, который позволяет определить наиболее эффективное распределение материала по заданному объему для заданного набора нагрузок для максимизации заданных параметров. Используя топологическую оптимизацию на этапе проектирования конструкции, возможно получить

форму, наилучшим образом подходящую под заданные критерии: массовые и прочностные характеристики.

Работа посвящена топологической оптимизации элементов механизации плоского реактивного сопла.

Оптимизация проводилась в программном комплексе Altair Inspire 2020.11850.

В ходе выполнения работы были реализованы следующие этапы:

• Определение областей оптимизации для каждой детали в Siemens_NX.

• Получение оптимальной топологии в Altair Inspire.

• Проектирование твердотельных моделей в Siemens NX на основании полученной фацетной геометрии с оптимальной топологией.

• Поверочный расчет на прочность.

Для данной задачи наиболее рациональным целевым критерием определена минимизация массы при заданном минимально допустимом запасе статической прочности с дополнительным ограничением предельных абсолютных перемещений.

При проработке твердотельных моделей на основе полученной фацетной геометрии учтены технологические особенности аддитивного производства, такие как минимальная толщина перемычек и минимизация нависающих элементов детали.

Поверочный прочностной расчет выполнен в программном комплексе ANSYS, в ближайшее время будут проведены испытания в составе изделия.

Итогом работы является снижение массы узла более чем на 37%.

Topological optimization of the mechanization elements of a flat jet nozzle

Borodkin N.M.

Lulka Design Bureau, Moscow, Russia

The tasks of minimizing the mass and increasing the specific strength of parts are one of the key in the aerospace industry. Topological optimization is an effective tool for designing lightweight and durable structures, and additive technologies allow you to implement the resulting forms, often inaccessible to classic subtractive production methods.

The work is devoted to topological optimization of the mechanization elements of a flat jet nozzle. Topology optimization is a relatively new mathematical method that determines the most efficient distribution of material over a given volume for a given set of loads to maximize the specified parameters. Thus, using topological optimization at the design stage of the part, it is possible to obtain the most rational shape that best suits a specific task, thereby reducing mass and increasing strength characteristics.

Optimization was carried out in the Altair Inspire 2020.11850 software complex.

During the work, the following stages were implemented:

• Define optimization areas for each part in Siemens NX.

• Get the best topology in Altair Inspire.

• Design of solid models in Siemens NX based on the obtained facet geometry with optimal topology.

• Test strength calculation.

For this problem, the most rational target criterion is the minimization of mass at a given minimum permissible margin of static strength with an additional restriction on the maximum movements of the eyes along their axis of rotation.

When studying solid models based on the obtained facet geometry, the technological features of additive production, such as the minimum thickness of the jumpers and the minimization of overhanging elements, are taken into account.

Verification strength calculation was performed in the ANSYS software complex, tests as part of the product will be carried out in the near future.

The result of the work is a reduction in the mass of the unit by more than 37%.

Повышение взаимного соответствия качества двигателей летательных аппаратов в условиях их серийного производства

Бурова А.Ю.
МАИ, г. Москва, Россия

Асимметрия тяги двигателей летательных аппаратов в полете представляет прямую и реальную угрозу его безопасности. Проблема безопасности полета двухдвигательных летательных аппаратов тесно связана с уровнем контроля взаимного соответствия качества их двигателей. Насущность решения этой проблемы актуализирует исследование дополнительных возможностей ужесточения контроля взаимного соответствия качества двигателей летательных аппаратов в условиях их серийного производства. Целью исследования является анализ и разработка методов такого ужесточения. При исследовании использовались методы математической статистики и программного моделирования. Результаты исследования показали и подтвердили возможность повышения взаимного соответствия качества авиационных двигателей в условиях их серийного производства методами глубокого тестирования их технического состояния в условиях серийного производства. Предложены и разработаны методы глубокого тестирования двигателей одной серии сразу по трём их рабочим параметрам с использованием нормированной трехмерной функции случайного распределения их значений, измеренных на стендовых испытаниях. Теоретической основой таких методов можно и должно считать так называемое «Правило трёх сигм» и методы математической статистики и теории вероятностей. Для повышения взаимного соответствия качества двигателей летательных аппаратов в условиях их серийного производства предложена и разработана методика такого тестирования двигателей одной серии.

Литература:

1. Афанасьев В.А., Лебедев В.А., Монахова В.П., Мышелов Е.П., Ножницкий Ю.А. Техническое регулирование и управление качеством. – М.: Книжный дом «Либроком», 2017. - 256 с.

2. Бурова А.Ю.Сертификация авиационной техники: Учебное пособие. – М.: ЛЕНАНД, 2017. – 296 с.

3. Дворниченко В.В., Бурова А.Ю. Глубокое тестирование турбореактивных двигателей методами математической статистики для повышения их соответствия нормативам ICAO // Вестник Московского авиационного института. – 2011. – Т. 18, № 3. – С. 116-127.

4. Красоткин А.А. Сертификация авиационной техники : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Самолёто- и вертолётостроение», «Системы жизнеобеспечения и оборудования летательных аппаратов». – М.: МАИ, 2007.

5. Мышелов Е.П. Введение в метрологию, стандартизацию и сертификацию качества: Учебное пособие. – М.: КРАСАНД, 2016. – 224 с.

6. Новичков В.М., Бурова А.Ю. Применение ТРДД на ЛА с минимизацией разнотяговости для повышения безопасности полётов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 11 (часть 7). – С. 1343-1351.

Improving the mutual conformity of the quality of aircraft engines in the conditions of their serial production

Burova A.Yu.
MAI, Moscow, Russia

The asymmetry of the thrust of aircraft engines in flight poses a direct and real threat to its safety. The problem of flight safety of twin-engine aircraft is closely related to the level of control of mutual compliance with the quality of their engines. The urgency of solving this problem actualizes the study of additional possibilities for tightening the control of mutual compliance with the quality of aircraft engines in the conditions of their serial production. The purpose of the study is to analyze and develop methods of such tightening. Methods of mathematical statistics and software modeling were used in the study. The results of the study showed and confirmed the possibility of improving the mutual conformity of the quality of aircraft engines in the conditions of their serial production by methods

of in-depth testing of their technical condition in the conditions of serial production. Methods of in-depth testing of engines of the same series are proposed and developed for three of their operating parameters at once using a normalized three-dimensional function of the random distribution of their values measured on bench tests. The theoretical basis of such methods can and should be considered the so-called "Three Sigma Rule" and methods of mathematical statistics and probability theory. In order to improve the mutual conformity of the quality of aircraft engines in the conditions of their serial production, a methodology for such testing of engines of one series has been proposed and developed.

References:

1. Afanasyev V.A., Lebedev V.A., Monakhova V.P., Myshelov E.P., Scissitsky Yu.A. Technical regulation and quality management. – M.: Book House "Librocom", 2017. - 256 p.

2. Burova A.Yu. Certification of aviation equipment: Textbook. – M.: LENAND, 2017. – 296 p.

3. Dvornichenko V.V., Burova A.Yu. Deep testing of turbojet engines by methods of mathematical statistics to increase their compliance with ICAO standards // Bulletin of the Moscow Aviation Institute. - 2011. – Vol. 18, No. 3. – pp. 116-127.

4. Krasotkin A.A. Certification of aviation technology : textbook for students of higher educational institutions studying in the specialties "Aircraft and helicopter engineering", "Life support systems and equipment of aircraft". – M.: MAI, 2007.

5. Myshelov E.P. Introduction to metrology, standardization and quality certification: Textbook. – M.: KRASAND, 2016. – 224 p.

6. Novichkov V.M., Burova A.Yu. The use of turbofan engines on aircraft with minimization of different loads to improve flight safety // Fundamental research. – 2015. – No. 11 (part 7). – pp. 1343-1351.

Отвод избыточного тепла с помощью капельных монодисперсных потоков от космических систем большой мощности

Бухаров А.В., Бухарова М.А.
МЭИ, г. Москва, Россия

Исследование и освоение космического пространства, ближайших планет и небесных тел, защиты Земли в условиях кометно-астероидной опасности делает необходимым существенное увеличение мощности энергетических систем космических аппаратов ближнего и дальнего космоса. Для увеличения коэффициента полезного действия космических энергетических систем с замкнутым циклом необходимо отводить тепло из низкотемпературной части цикла. В условиях космоса это тепло, а также другие излишки тепла, связанные с обеспечением надежного функционирования систем космических аппаратов, можно сбрасывать без потери рабочего тела только излучением с помощью специальных теплообменных систем. Однако с увеличением мощности масса теплообменной системы возрастает, а это в свою очередь приводит к существенному увеличению массогабаритных характеристик самих космических аппаратов. Наиболее перспективным является использование для отвода тепла от энергетических установок космических аппаратов – капельных холодильников излучателей (КХИ). В КХИ теплоноситель, проходя по рабочему контуру, нагревается и поступает в генератор капельного потока. С помощью генератора осуществляется формирование и выброс в космическое пространство капельного потока, представляющего собой регулярную структуру из большого количества монодисперсных капель. Холодный теплоноситель собирается специальным сборником и возвращается обратно в рабочий контур. Преимущества такой системы теплоотвода — простота конструкции, непосредственное излучение тепла в окружающее пространство, отсутствие громоздких металлических элементов, простой вывод и развёртывание в космосе, управляемый и стабильный теплоотвод, длительное время непрерывной работы. В результате, можно значительно уменьшить массу системы теплоотвода и получить почти стопроцентную метеоритную защиту. По величине теплоотвода и отношению полезного веса системы теплоотвода к излучаемой тепловой мощности КХИ превосходят все известные космические теплообменные системы. Особенно эффективно использование КХИ в тех случаях, когда

мощность теплоотвода от космического аппарата превышает 100 кВт, а при мощностях больших 1 МВт конкуренцию КХИ не может составить ни одна из существующих систем теплоотвода. Для изучения теплофизических процессов получения монодисперсных потоков была создана специальная экспериментальная установка. Установка позволяет получать плотные потоки монодисперсных капель с диаметром капель 0.15-0.3 мм и угловой расходимостью менее 1 мрад. В результате выполнения комплекса расчётно-экспериментальных исследований получены важные экспериментальные результаты и на их основе создана и протестирована в наземных условиях система генерации монодисперсных капельных потоков. Разработанная система генерации использовалась в космических испытаниях макета КХИ. Испытания проводились на станции «Мир» и на Международной космической станции. Разработанная система генерации капельного потока может быть рекомендована для дальнейшего использования в новых космических экспериментах и для последующего проектировании систем, предназначенных для отвода избыточного тепла от космических систем большой мощности.

Литература:

1.Бухаров А.В., Конюхов Г.В., Конюхов В.Г. К проблеме отвода низкопотенциального тепла от космических систем большой мощности. Инженерно-физический журнал. 2020. Т. 93. № 1. с. 18-29.

Removal of excess heat by drip monodispersed streams from high-power space systems

Boukharov A.V., Boukharova M.A.
MPEI, Moscow, Russia

The exploration and exploration of outer space, the nearest planets and celestial bodies, the protection of the Earth in the conditions of a comet-asteroid danger makes it necessary to significantly increase the power of the energy systems of spacecraft in near and far space. To increase the efficiency of space power systems with a closed cycle, it is necessary to remove heat from the low-temperature part of the cycle. In space conditions, this heat, as well as other excess heat associated with ensuring the reliable operation of spacecraft systems, can be dumped without loss of the working fluid only by radiation using special heat exchange systems. However, with an increase in power, the mass of the heat exchange system increases, and this, in turn, leads to a significant increase in the weight and size characteristics of the spacecraft themselves. The most promising is the use for heat removal from power plants of spacecraft - drop coolers of emitters (KHI). In DCR, the coolant, passing through the working circuit, heats up and enters the droplet flow generator. With the help of the generator, a droplet flow is formed and ejected into outer space, which is a regular structure of a large number of monodisperse drops. The cold coolant is collected in a special collector and returned back to the working circuit. The advantages of such a heat removal system are simplicity of design, direct heat radiation into the surrounding space, the absence of bulky metal elements, simple removal and deployment in space, controlled and stable heat removal, and a long time of continuous operation. As a result, the mass of the heat sink system can be significantly reduced and almost 100% meteor protection can be obtained. In terms of heat removal and the ratio of the useful weight of the heat removal system to the radiated thermal power, KHI surpasses all known space heat exchange systems. The use of DCR is especially effective in cases where the heat removal power from the spacecraft exceeds 100 kW, and at powers greater than 1 MW, none of the existing heat removal systems can compete with DCR. To study the thermophysical processes of obtaining monodisperse flows, a special experimental setup was created. The setup makes it possible to obtain dense flows of monodisperse droplets with a droplet diameter of 0.15–0.3 mm and an angular divergence of less than 1 mrad. As a result of performing a set of computational and experimental studies, important experimental results were obtained and, on their basis, a system for generating monodisperse droplets was created and tested under ground conditions. The developed generation system was used in space tests of the DCR model. Tests were carried out at the Mir station and at the International Space Station. The developed droplet flow generation system can be recommended for further use in new space experiments and for the subsequent design of systems designed to remove excess heat from high-power space systems.

References:
1. Bukharov A.V., Konyukhov G.V., Konyukhov V.G. On the problem of low-potential heat removal from high power space systems. Engineering Physics Journal. 2020. V. 93. No. 1. p. 18-29.

Модель радиационной зарядки диэлектрических элементов конструкции космического аппарата в магнитосферной плазме

Валиуллин В.В., Надирадзе А.Б.
МАИ, г. Москва, Россия

Космический аппарат (КА) на околоземной орбите подвергается электризации внешних поверхностей потоками частиц магнитосферной плазмы. В силу разнородности электрофизических свойств элементов конструкции КА возникает эффект дифференциальной зарядки, который состоит в появлении значительных разностей электрических потенциалов между этими элементами. В свою очередь этот эффект может приводить появлению мощных электростатических разрядов или инициированию вторичных электрических дуг. Зажигание вторичных дуг между высоковольтными контактами солнечных батарей может приводить к выходу их из строя. В связи с этим изучение и построение математических моделей радиационной зарядки диэлектрика является одним из актуальных направлений науки [1].

В данной работе смоделировано взаимодействие накопленных электронов в объеме диэлектрика с генерированным приповерхностным слоем дырок. Приповерхностный слой дырок образуется при радиационном облучении диэлектрика при появлении тока вторичной электронной эмиссии. Глубина нахождения дырок не превышает нескольких десятков атомных слоев от поверхности материала. Накопление электронов происходит на энергетических ловушках в дислокациях кристаллической решетки в объеме диэлектрика и располагается на глубине десятков мкм [2,3].

Поэтому рассмотрена модель плоского электрического конденсатора с двумя стадиями зарядки, обусловленными разными временами установления тока вторичной эмиссии и потенциала поверхности диэлектрика. Первая стадия зарядки характеризуется ускорением вторичного эмиссионного тока электронов и увеличением коэффициента электронно-электронной эмиссии. Данный эффект, обусловленный ростом внутренней напряженности поля между электрическими слоями, учтен в модели коэффициентом усиления. Вторая стадия зарядки характеризуется относительно медленным ростом потенциала поверхности и удержанием коэффициента электронно-электронной эмиссии в пределах единичного значения. Для описания данного эффекта в модели применяется коэффициент ослабления, значения которого зависит от возвратного электрического поля над поверхностью диэлектрика.

Результаты численного расчета показали применимость представленной модели для описания радиационной зарядки диэлектрических материалов. Получены зависимости изменений концентраций зарядов, плотностей тока, внешней и внутренней напряженностей поля и потенциала поверхности диэлектрика. Данная модель зарядки применима для описания процессов релаксации заряда при появлении низкотемпературной плазмы в окрестности диэлектрика. Переменные воздействия зарядки и релаксации накопленного заряда позволят сформировать картину формирования поверхностного заряда и описать структурные изменения в диэлектриках при электризации.

1. Новиков Л.С. и др. Электризация космических аппаратов в магнитосферной плазме. В кн.: Модель космоса, 8-е издание, т.2: Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов. Под ред. Л.С. Новикова, –М.: Изд-во “Книжный дом Университет”, 2007, с. 236–275.

2. Твердохлебов С.И., Тухфатуллин Т.А. Критическая (взрывная) электронная эмиссия из диэлектриков, индуцированная инжекцией плотного пучка электронов. Известия Томского политехнического университета, 2000. 300(3): 41-47.

3. Meyza X. Secondary electron emission and self-consistent charge transport and storage in bulk insulators: Application to alumina /X. Meyza [et al.] // J. Appl. Phys. – 2003. – V. 94. – P. 5384-5392.

Model of radiation charging of dielectric elements of the spacecraft structure in magnetospheric plasma

Valiullin V.V., Nadiradze A.B.
MAI, Moscow, Russia

A spacecraft in near-Earth orbit undergoes electrification of external surfaces by flows of magnetospheric plasma particles. Due to the heterogeneity of the electrophysical properties of the spacecraft design elements, the effect of differential charging occurs, which consists in the appearance of significant electrical potential differences between these elements. This effect can lead to the appearance of powerful electrostatic discharges or the initiation of secondary electric arcs. Ignition of secondary arcs between high-voltage contacts of solar panels can lead to their failure. In this regard, the study and construction of mathematical models of radiation charging of a dielectric is one of the relevant areas of science [1].

In this paper, the interaction of accumulated electrons in the volume of a dielectric with the generated near-surface layer of holes is modeled. The near-surface layer of holes is formed by electron irradiation of the dielectric when a secondary electron emission current appears. The depth of finding of the holes is several tens of atomic layers from the surface of the material. The accumulation of electrons occurs on energy traps in dislocations of the crystal lattice in the volume of the dielectric and is located at a depth of tens of microns [2,3].

Therefore, a model of a flat electric capacitor with two charging stages due to different times of setting the secondary emission current and the potential of the dielectric surface is considered. The first stage of charging is characterized by an acceleration of the secondary electron emission current and an increase in the electron-electron emission coefficient. This effect, caused by an increase in the internal field strength between the electrical layers, is taken into account in the model by the gain factor. The second stage of charging is characterized by a relatively slow growth of the surface potential and the retention of the electron-electron emission coefficient at the unit level. To describe this effect, the attenuation coefficient is used in the model, the values of which depend on the return electric field over the dielectric surface.

The results of numerical calculation have shown the applicability of the presented model to describe the radiation charging of dielectric materials. Dependences of changes in charge concentrations, current densities, external and internal field strengths and dielectric surface potential are obtained. This charging model is applicable to describe the processes of charge relaxation when a low-temperature plasma appears in the vicinity of a dielectric. The variable effects of charging and relaxation of the accumulated charge will allow us to form a picture of the formation of the surface charge and describe structural changes in dielectrics during electrification.

1. Novikov L.S. et al. Electrification of spacecraft in magnetospheric plasma. In: Model of Space, 8th edition, vol.2: The impact of the space environment on materials and equipment of spacecraft. Edited by L.S. Novikov, –M.: Publishing House “Book House University",2007,pp.236-275.

2. Tverdokhlebov S.I., Tukhvatullin T.A. Critical (explosive) electron emission from dielectrics induced by injection of a dense electron beam. News of Tomsk Polytechnic University,2000.300(3):41-47.

3. Maya X. Secondary electron emission and self-consistent charge transport and storage in bulk insulators: Application to alumina/X.Meyza[et al.]//J.Appl.Phys.–2003.–V.94. –P.5384-5392.

Закрученные потоки в системах охлаждения и термостатирования элементов газовых турбин

Веретенников С.В., Евдокимов О.А., Гурьянов А.И.
РГАТУ имени П.А. Соловьева, г. Рыбинск, Россия

Форсирование авиационных и наземных ГТД требует роста эффективности конвективного охлаждения теплонапряженных узлов горячего тракта за счет повышения интенсивности теплосъема на внутренней поверхности охлаждающих каналов. Одним из возможных путей решения этой проблемы является совершенствование процессов конвективного охлаждения за счет закрутки потока. В зависимости от решаемой задачи возможны несколько способов интенсификации тепломассообмена закруткой потока: циклонный способ, вихревой, с

реализацией эффекта энергоразделения потока, и импактное натекание закрученных струй. Их широкое применение в малоразмерных системах охлаждения и термостатирования элементов проточной части ГТД сдерживается отсутствием адекватных расчетных методик. Таким образом, исследование процессов интенсификации теплообмена в ограниченных и струйных закрученных потоках является важной и актуальной задачей. Эффективность применения вихревых энрегоразделителей в системах охлаждения лопаток ГТД зависит от выбора оптимальных геометрических и режимных параметров, однако на сегодняшний день теплообмен в вихревых трубах остается малоизученным. Выявлены наиболее эффективные режимы работы на воздухе вихревого энергоразделителя противоточной конструкции. Результаты экспериментов с использованием перегретого водяного пара показали, что коэффициент теплоотдачи при использовании пара значительно (более чем в 2 раза) превышает значения, полученные при использовании воздуха.

При проектировании циклонной системы одним из важнейших является вопрос правильной организации закрутки потока в канале охлаждения, которая обеспечивает максимальную интенсификацию теплообмена при определенных ограничениях по расходу охладителя и потерям полного давления. Это достигается выбором формы и размера канала, количеством тангенциальных подводов охладителя и их размещением по длине канала. С целью решения задачи оптимизации конструкции при проектировании циклонно-вихревой (с закруткой потока) системы охлаждения для обеспечения требуемой равномерности температуры по контуру и по высоте с достижением высокой интенсивности охлаждения, как входной кромки, так и основной части пера лопатки проведено исследование теплообмена в циклонном канале во входной кромке и в каналах, расположенных в основной части пера лопатки, численным и экспериментальным методами. По результатам экспериментального исследования получена критериальная зависимость для расчета среднего теплообмена по поверхности пластины коэффициента теплоотдачи.

Закрутка потока позволяет существенно улучшить характеристики импактных систем охлаждения. Для анализа влияния интенсивности закрутки импактной струи на теплообмен выполнены расчетно-экспериментальные исследования теплоотдачи от комбинированной струи с регулируемой степенью закрутки. Интенсивность среднего теплообмена при натекании закрученной струи оказывается на 15-20% выше, чем у осевых струй, работающих в том же диапазоне чисел Рейнольдса. Опыт показывает, что энергетические затраты на генерацию закрученной струи несколько выше. Значения чисел Нуссельта для комбинированной импактной струи на 35% больше, чем у осевых струй, в одном и том же диапазоне чисел Рейнольдса.

Представленные результаты показывают высокий потенциал концепции закрученного потока при ее использовании в системе охлаждения турбин. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-08-01199.

Swirling flows in cooling and temperature control systems for gas turbine parts

Veretennikov S.V., Evdokimov O.A., Guryanov A.I.
RSATU, Rybinsk, Russia

Forcing aviation and power gas turbine engines requires an increase in the efficiency of convective cooling of heat-stressed nodes of the hot path by increasing the intensity of heat removal on the inner surface of the cooling channels. One of the possible ways to solve this problem is to improve the processes of convective cooling by swirling the flow. Depending on the problem being solved, there are several ways to intensify heat and mass transfer by swirling the flow: the cyclone method, the vortex method, with the implementation of the energy separation effect of the flow, and the impact flow of swirling jets. Their wide application in small-sized systems of cooling and temperature control of the elements of the GTE flow path is constrained by the lack of adequate calculation methods. Thus, the study of the processes of heat transfer intensification in limited and jet swirling flows is an important and urgent task. The efficiency of using vortex energy separators in cooling systems for GTE blades depends on the choice of optimal geometric and operating parameters, however, to date, heat transfer in vortex tubes remains poorly understood. The most efficient modes

of operation in air of a counterflow vortex energy separator are revealed. The results of experiments using superheated water vapor showed that the heat transfer coefficient when using steam significantly (more than 2 times) exceeds the values obtained when using air.

When designing a cyclone system, one of the most important issues is the correct organization of flow swirling in the cooling channel, which ensures maximum heat transfer intensification under certain restrictions on coolant flow and total pressure losses. This is achieved by choosing the shape and size of the channel, the number of tangential coolant inlets and their placement along the length of the channel. In order to solve the problem of design optimization when designing a cyclone-vortex (with flow swirling) cooling system to ensure the required temperature uniformity along the contour and along the height with the achievement of a high cooling intensity, both of the leading edge and the main part of the blade airfoil, a study of heat transfer in the cyclone channel was carried out. in the leading edge and in the channels located in the main part of the blade airfoil, by numerical and experimental methods. Based on the results of an experimental study, a criterion dependence was obtained for calculating the average heat transfer over the surface of the plate of the heat transfer coefficient:

The flow swirl can significantly improve the characteristics of impact cooling systems. To analyze the influence of the impact jet swirl intensity on heat transfer, computational and experimental studies of heat transfer from a combined jet with a controlled swirl degree were performed. The intensity of the average heat transfer during the impingement of a swirling jet is 15–20% higher than that of axial jets operating in the same range of Reynolds numbers. Experience shows that the energy costs for generating a swirling jet are somewhat higher. The Nusselt numbers for the combined impact jet are 35% larger than those for the axial jets in the same range of Reynolds numbers.

The presented results show the high potential of the swirling flow concept when used in a turbine cooling system. This work was financially supported by RFBR (Russian Foundation for Basic Research) grant No. 20-08-01199 A.

Разработка методики аттестации аэродинамической измерительной установки для передачи единицы скорости воздушного потока приемникам давлений

Версин А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Для проведения экспериментальной отработки новых газотурбинных двигателей используют приемники полного и статического давлений [1], как средства измерения скорости воздушного потока. Так как эти средства измерений изготавливают в единичном исполнении, то возникает необходимость определения их метрологических характеристик на аэродинамических измерительных установках.

Одна из таких установок создаётся на базе Московского авиационного института в рамках выполнения научно-исследовательской работы. Разрабатываемая установка позволяет передавать единицу скорости воздушного потока от 70 до 350 м/с с суммарным средне квадратическим отклонением не более 0,01*V м/с, где V – скорость воздушного потока. Система позиционирования, реализуемая координатным устройством, позволяет производить позиционирование приемников полного и статического давлений вдоль геометрической оси сопла изменяя угол между вектором скорости потока и осью приемного отверстия с точностью 1’ [2].

Для подтверждения метрологических характеристик установок такого типа проводят поверку или аттестацию в качестве эталона единицы величины.

В нашей работе представлена разработанная методика аттестации аэродинамической измерительной установки в качестве эталона единицы величины, где предусмотрена оценка: погрешности измерений скорости воздушного потока, диапазона задаваемых скоростей воздушного потока, неравномерности поля скоростей в выходном сечении сопла, нестабильности поддержания задаваемых скоростей воздушного потока, погрешности позиционирования объекта в воздушном потоке. Определены применяемые при аттестации эталоны скорости воздушного потока и эталоны единицы плоского угла.

Литература:

1. Афанасьев В.А., Монахова В.П., Мухина С.Д., Версин А.А. Разработка экспериментальных средств для градуировки приемников давления // Труды МАИ – 2017. – Выпуск № 95. – с. 31;

2. Афанасьев В.А., Монахова В.П., Мухин А.Н., Версин А.А Разработка системы позиционирования для обеспечения точности угловых и линейных перемещений // Вестник метролога – 2019 - № 3 – с 3-8.

Development of a certification procedure for an aerodynamic measuring installation for transferring a unit of airflow velocity to pressure receivers

Versin A.A.

MAI, Moscow, Russia

To conduct experimental testing of new gas turbine engines, receivers of total and static pressures are used [1], as a means of measuring the speed of the air flow. Since these measuring instruments are made in a single version, it becomes necessary to determine their metrological characteristics on aerodynamic measuring installations.

One of these installations is being created on the basis of the Moscow Aviation Institute as part of the research work. The unit being developed allows to transmit a unit of air flow velocity from 70 to 350 m/s with a total standard deviation of not more than 0.01 * V m/s, where V is the air flow velocity. The positioning system implemented by the coordinate device allows the positioning of total and static pressure receivers along the geometrical axis of the nozzle by changing the angle between the flow velocity vector and the axis of the receiving hole with an accuracy of 1' [2].

To confirm the metrological characteristics of installations of this type, verification or certification is carried out as a standard unit of quantity.

In our work, we present the developed methodology for certification of an aerodynamic measuring installation as a standard unit of quantity, which provides for the assessment of: measurement errors of air flow velocity, the range of preset air flow velocities, the unevenness of the velocity field in the outlet section of the nozzle, the instability of maintaining preset air flow velocities, the positioning error of an object in the air stream. The air flow velocity standards used for certification and the standards of the unit of flat angle are determined.

References:

1. Afanasiev V.A., Monakhova V.P., Mukhina S.D., Versin A.A. Development of experimental tools for calibrating pressure receivers // Proceedings of the MAI - 2017. - Issue No. 95. - p. 31;

2. Afanasiev V.A., Monakhova V.P., Mukhin A.N., Versin A.A. Development of a positioning system to ensure the accuracy of angular and linear movements // Vestnik metrologa - 2019 - No. 3 - pp. 3-8.

Метрологическая экспертиза документации, для ресурсных испытаний авиационной техники

Волков М.И.

МАИ, г. Москва, Россия

При разработке и создании новых изделий авиационной техники одной из важнейших задач является обеспечение их высокого качества. Процедура проведения метрологической экспертизы технической документации, предназначенной для ресурсных испытаний, рассматривается как инструмент повышения качества испытаний авиационной техники.

Целью данной работы является совершенствование стандартизованных подходов к проведению метрологической экспертизы электронной конструкторской и технологической документации, создаваемой в формате современных CAD и PDM систем, для ресурсных испытаний изделий авиационной техники.

В докладе приведен анализа нормативно-технической документации и предложен наиболее оптимальный перечень руководящих документов, которым стоит руководствоваться в процессе проведения метрологической экспертизы электронной конструкторской и технологической документации. Выявлены и классифицированы наиболее распространенные ошибки, выявляемые в ходе проведения метрологической экспертизы. Разработан порядок

организации и проведения метрологической экспертизы электронной конструкторской и технологической документации путем использования требований существующих руководящих документов (ГОСТов, рекомендаций, инструкций и тп).

Результаты проведенного исследования могут быть применены на предприятиях отечественной авиационной промышленности и использованы при разработке стандартов организации в части касающейся метрологической экспертизы, что позволит наиболее обширно охватить вопрос проведения метрологической экспертизы электронной конструкторской и технологической документации.

Metrological examination of documentation, for aviation equipment testing resources

Volkov M.I.
MAI, Moscow, Russia

When developing and creating new aircraft products, one of the most important tasks is to ensure their high quality. The procedure for carrying out metrological examination of technical documentation intended for resource testing is considered as a tool for improving the quality of testing of aviation equipment.

The purpose of this work is to improve standardized approaches to conducting metrological examination of electronic design and technological documentation created in the format of modern CAD and PDM systems for resource testing of aircraft products.

The report provides an analysis of regulatory and technical documentation and suggests the most optimal list of guidance documents that should be guided in the process of conducting metrological examination of electronic design and technological documentation. The most common errors identified during the metrological examination are identified and classified. The procedure for organizing and conducting metrological examination of electronic design and technological documentation has been developed by using the requirements of existing guidance documents (state standard, recommendations, instructions, etc.).

The results of the conducted research can be applied at the enterprises of the domestic aviation industry and used in the development of standards of the organization in terms of metrological examination, which will allow the most extensive coverage of the issue of metrological examination of electronic design and technological documentation.

Способы повышения КПД ступени ТВД за счёт оптимизации профиля сопловой лопатки ТВД

Гатаулин П.А., Стародумов А.В., Стародумова И.М.
ОКБ им. А. Люльки, г. Москва, Россия

Рассматривается задача оптимизации исходного профиля СЛ ТВД с учетом требования сохранения основных геометрических параметров профиля с целью повышения КПД ступени. Были предложены три способа оптимизации:

- Применение эллиптической входной кромки.
- Применение подрезки выходной кромки.
- Применение совместно двух способов, предложенных выше.

Для каждого из предложенных способов проводится профилирование и 2D-газодинамический расчёт в программе EnginICAD с определением потерь в СЛ, а для третьего способа – дополнительно 3D-газодинамический расчёт. Все расчеты проводятся с учётом выдувов охлаждающего воздуха.

По результатам 2D-газодинамического расчёта максимальное снижение потерь в СЛ ТВД (~2,9%) наблюдается на профиле с эллиптической входной кромкой и подрезкой выходной кромки. Это приводит к повышению КПД ступени на 1,4%.

Для 3D-газодинамического расчёта из ПК EnginICAD импортируются координаты оптимизированного (с эллиптической выходной кромкой и подрезкой выходной) профиля для построения 3D модели СЛ в программе NUMECA. По результатам 3D-газодинамического расчёта самым оптимальным является способ применения совместно эллиптической входной

кромки и подрезки выходной кромки. При этом суммарное снижение потерь на СЛ по сравнению с исходным профилем составляет ~ 3,3%, что повышает КПД ступени на 1,64%.

Таким образом, без изменения основных геометрических параметров профиля, а именно ширины, хорды, конструктивных углов входа и выхода, не изменяя сопловую лопатку, используя способ применения эллиптической входной кромки и подрезки выходной кромки возможно повысить газодинамическую эффективность ступени охлаждаемой ТВД.

Ways to increase the efficiency of the high-pressure turbine stage by optimizing the profile of the nozzle vane of the H-PT

Gataulin P.A., Starodumov A.V., Starodumova I.M.
A. Lyulka Design Bureau, Moscow, Russia

The problems of optimizing the initial turbine profile considered, taking into account the requirement to preserve the basic geometric parameters of the profile in order to increase the efficiency of the stage.

Three optimization methods have been proposed:

- Application of leading edge sharpening.
- Application of trailing edge undercut.
- Applying together the two methods proposed above.

For each of the proposed method, profiling and 2D-gas-dynamic calculation are carried out in the EnginICAD program with the determination of losses in NV, and for the third method, an additional 3D-gas-dynamic calculation is performed. All calculation is carried out taking into account the cooling air blowouts.

According to the results of 2D-gas-dynamic calculation, the maximum reduction in losses in the NV H-PT (2.9%) is observed on a profile with a leading edge sharpening and trailing edge undercut. This leads to an increase in the efficiency of the stage by 1.4%.

For 3D-gas-dynamic calculation, coordinates of an optimized (with a leading edge sharpening and trailing edge undercut) profile are imported from the PC EnginICAD to create 3D model of the NV in the program NUMECA. According to the results of 3D-gas-dynamic calculation, the most optimal method is to use a leading edge sharpening and trailing edge undercut together. At the same time the total reduction in NV losses compared to the initial profile is 3.3%, which increase the efficiency of the stage by 1.64%.

Thus without changing the basic geometric parameters of the profile, namely width, chord, structural angles of entry and exit, without changing the nozzle vane, using the method of using a leading edge sharpening and trailing edge undercut, it is possible to increase the gas-dynamic efficiency of the stage of the cooled high-pressure turbine.

Интеграция двигателя ПД-14 с самолетом МС-21-310 для обеспечения отсутствия опасных последствий при обрыве рабочей лопатки вентилятора

Гладкий И.Л., Иноземцев А.А., Морозова М.В.
АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, Россия

При проектировании и сертификации двигателя ПД-14 на соответствие требованиям Норм летной годности АП-33 также решен комплекс вопросов по интеграции с самолетом МС21-310 для исключения опасных последствий и минимизации рисков при обрыве рабочей лопатки вентилятора.

При проектировании корпуса вентилятора применены конструктивные решения для минимизации вылета фрагментов оборванной лопатки вентилятора вперед (по направлению полета) и минимизации повреждений воздухозаборника.

При проектировании элементов соединения корпуса вентилятора и воздухозаборника применены противосрезные втулки, предотвращающие обрыв воздухозаборника после обрыва лопатки вентилятора.

Испытание двигателя с обрывом рабочей лопатки проведено на штатном самолетном пилоне, с самолетным воздухозаборником и реверсом тяги.

По результатам испытаний двигателя с обрывом рабочей лопатки вентилятора и по результатам наземных частотных испытаний самолета МС-21-310 с двигателем ПД-14 верифицирована динамическая модель колебательной системы двигателя ПД-14 на крыле самолета, с помощью которой были определены нагрузки, действующие на крыло воздушного судна при обрыве лопатки и последующей авторотации.

По результатам испытаний двигателя с обрывом рабочей лопатки вентилятора и по результатам расчетно-аналитических работ определены размеры, массы, траектории разлета фрагментов лопаток, проходящие мимо корпусов двигателя.

Сертификационное испытание двигателя ПД-14 с обрывом рабочей лопатки вентилятора подтвердило отсутствие вылета фрагментов с большой энергией по оси двигателя вперед, подтвердило отсутствие существенных повреждений и отсоединения самолетного воздухозаборника и реверса тяги.

Поврежденный на испытаниях с обрывом рабочей лопатки вентилятора самолетный воздухозаборник дополнительно был подвергнут вибрационным испытаниям, подтвердившим его прочность в результате воздействия повышенной вибрации.

Створки капота мотогондолы, которые отсутствовали на испытаниях с обрывом рабочей лопатки, были дополнительно рассчитаны на усилия от обрыва лопатки, полученные с верифицированной динамической модели, что подтвердило отсутствие их разрушения.

Integration of PD-14 engine with MS21-310 plane for assuring hazardous engine effects prevention during the fan blade out event

Gladky I.L., Inozemtsev A.A., Morozova M.V.
JSC “UEC-Aviadvigatel”, Perm, Russia

In the process of design and certification of the PD-14 jet engine in compliance with AP-33 specifications a set of plane MS21-310 integration issues was solved in order to avoid hazardous engine effects and minimize the risks associated with fan blade-out event.

In fan casing design process engineering solutions were used to minimize released fan blade shards forward spread in flight direction and for mitigation of nacelle damage.

While designing casing to nacelle joint elements anti-shear bushings were used to prevent nacelle separation as a result of a fan blade-out event.

Fan blade-out engine test was carried out using stock plane pylon, with stock plane intake and thrust reverser system.

Considering the results of engine fan blade-out testing and ground MS-21-310 plane oscillation testing with PD-14 jet engine installed, dynamic model of the oscillation system consisting of PD 14 jet engine and the plane wing was developed, which was used to determine aircraft wing loads during engine fan blade-out event and subsequent windmilling.

With the results of engine fan blade-out testing and analytical calculation sizes, masses and flight trajectories of fan blade fragments which bypass engine casings were determined.

PD-14 jet engine fan blade-out certification testing results confirmed the absence of high energy fragments flying out from the engine in forward direction and the absence of considerable damage or separation of plane intake and thrust reverser system.

Plane intake damaged during engine fan blade-out testing additionally underwent vibration testing, confirming its strength in a high vibration scenario.

Engine nacelle bonnet flaps which were absent during engine fan blade-out testing were additionally subjected to strength analysis with fan blade-out loads calculated with the verified dynamic model, confirming its strength.

Анализ особенностей технологического процесса ионного азотирования деталей вспомогательных газотурбинных двигателей

Горбунов А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Применение ионного азотирования даёт неоспоримые преимущества перед газовым или азотированием в солевых ваннах. Ионное азотирование успешно применяется при

изготовлении деталей для вспомогательных газотурбинных двигателей (ВГТД), где особенно важно сохранение точных размеров с жесткими допусками и сложной геометрией. Промышленное применение ионного азотирования испытывает некоторые сложности.

Во-первых, когда печь азотирования полностью загружена деталями, возникают трудности с поддержанием равномерной температуры в камере печи.

Во-вторых, когда происходит плотная загрузка деталей в садку, при этом детали очень близко расположены друг к другу, а также если они содержат глубокие глухие отверстия малого диаметра возникает явление известное как эффект полого катода. Также могут возникать искровые и дуговые разряды, которые могут вызвать повреждение поверхностей упрочняемых деталей.

В-третьих, поддержание равномерного распределения тлеющего разряда по поверхностям деталей, особенно при большой загрузке садки. Кроме того, активные частицы, образующиеся в плазме тлеющего разряда, часто имеют короткий срок службы. Эти два фактора способствуют снижению качества азотированного слоя и получение заведомо заниженного азотированного слоя.

Требуемые температурные условия создаются нагревом нагревательными элементами сопротивления, плазмой тлеющего разряда, возникающей у поверхности деталей, и радиационным дополнительным нагревом от активного экрана в виде металлической сетки, устанавливаемого вокруг садки с деталями.

Формирование тлеющего разряда на активном экране имеет две основные функции: нагрев деталей радиационным путем и генерация активных частиц с большим временем существования, которые перемещаются от экрана к упрочняемым деталям потоком газа.

Можно сделать вывод, что использование активного экрана устраняет недостатки традиционных схем ионного азотирования, связанные со сложностью поддержания требуемых температур, низкой равномерностью теплового поля, дугообразованием и др. [1]. Также использование активного экрана способствует генерации активных частиц с большим временем существования. Генерации активных частиц способствуют специальные газовые смеси. Для упрочнения ответственных деталей из сложнолегированных сталей разрабатываются специальные многокомпонентные составы газовых смесей, обеспечивающие оптимальные условия генерации активных частиц и высокую равномерность упрочнения участков поверхностей различной кривизны, включая поверхности глухих отверстий малого диаметра. Составы этих смесей являются Ноу-Хау разработчиков [2].

В долгосрочной перспективе ионное (плазменное) азотирование очень выгодно по сравнению с другими традиционными методами азотирования.

Литература:

1. A. Ricard, J. Deschamps, J. L. Godard, L. Falk, H. Michel, Materials Science and Engineering, Low frequency d.c. pulsed plasma for iron nitriding, 1991. C. 9 – 14. https://doi.org/10.1016/0921-5093(91)90587-D.

2. M. Hudis, Journal of Applied Physics, Study of ion-nitriding, 1973, 44, (4), 1489-1496 C. 1489 –1496. https://doi.org/10.1063/1.1662398.

Analysis of the features of the technological process of ion nitriding of auxiliary gas turbine engine parts

Gorbunov A.A.

MAI, Moscow, Russia

The use of ion nitriding gives undeniable advantages over gas or nitriding in salt baths. Ion nitriding is successfully used in the manufacture of parts for auxiliary gas turbine engines (VGTD), where it is especially important to maintain accurate dimensions with tight tolerances and complex geometry. The industrial application of ion nitriding is experiencing some difficulties.

Firstly, when the nitriding furnace is fully loaded with parts, it is difficult to maintain a uniform temperature in the furnace chamber.

Secondly, when there is a dense loading of parts into the cage, while the parts are very close to each other, and also if they contain deep blind holes of small diameter, a phenomenon known as the

hollow cathode effect occurs. Spark and arc discharges may also occur, which can cause damage to the surfaces of the parts being strengthened.

Thirdly, maintaining a uniform distribution of the glow discharge on the surfaces of the parts, especially with a large load of the cage. In addition, the active particles formed in the glow discharge plasma often have a short service life. These two factors contribute to a decrease in the quality of the nitrided layer and the production of a deliberately understated nitrided layer.

The required temperature conditions are created by heating with resistance heating elements, glow discharge plasma arising at the surface of the parts, and additional radiation heating from an active screen in the form of a metal mesh installed around the cage with the parts.

The formation of a glow discharge on an active screen has two main functions: heating of parts by radiation and generation of active particles with a long lifetime, which move from the screen to the hardened parts by a gas flow.

It can be concluded that the use of an active screen eliminates the disadvantages of traditional ion nitriding schemes associated with the difficulty of maintaining the required temperatures, low uniformity of the thermal field, arcing, etc. [1]. In addition, the use of an active screen contributes to the generation of active particles with a long lifetime. Special gas mixtures contribute to the generation of active particles. Special multicomponent compositions of gas mixtures are being developed to strengthen critical parts made of complex alloy steels, providing optimal conditions for the generation of active particles and high uniformity of hardening of surface areas of various curvature, including the surfaces of blind holes of small diameter. The compositions of these mixtures are the Know-how of the developers [2].

In the long term, ion (plasma) nitriding is very advantageous compared to other traditional nitriding methods.

References:

1. A. Ricard, J. Deschamps, J. L. Godard, L. Falk, H. Michel, Materials Science and Engineering, Low frequency d.c. pulsed plasma for iron nitriding, 1991. C. 9 – 14. https://doi.org/10.1016/0921-5093(91)90587-D.

2. M. Hudis, Journal of Applied Physics, Study of ion-nitriding, 1973, 44, (4), 1489-1496 C. 1489 –1496. https://doi.org/10.1063/1.1662398.

Математическая модель комбинированной силовой установки с двухконтурной системой охлаждения

Грунин А.Н., Силуянова М.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Комбинированные силовые установки (КСУ) высокоскоростных летательных аппаратов работают в условиях высоких тепловых нагрузок [1]. Так полная температура воздушного потока на входе в силовую установку при скорости полёта соответствующей числу Маха 5 превышает значение 1200 К, а температура газовой смеси в камере сгорания и вовсе достигает значений 2500 К. В данных условиях единственным источником хладоресурса является топливо, расположенное на борту ЛА. Использование углеводородного топлива при охлаждении теплонапряженных элементов КСУ ограничено по ресурсу ввиду процесса коксоотложения на поверхности каналов охлаждения. Введение дополнительного контура в систему охлаждения с промежуточным теплоносителем позволит вынести узел критичный к коксоотложению (теплообменный аппарат) за пределы охлаждаемого тракта двигателя. При этом данный теплоноситель должен быть химически инертным, не взрывоопасным и экологически безопасным.

В рамках работы разработана математическая модель комбинированной силовой установки с системой охлаждения с использованием промежуточного теплоносителя. В состав данной модели входят блоки расчета параметров и характеристик плоского воздухозаборника, прямоточного контура, газотурбинного контура [2], теплообменного аппарата и рубашки охлаждения прямоточного воздушно-реактивного двигателя (ПВРД).

С помощью математической модели рубашки охлаждения ПВРД осуществляется пошаговый расчет параметров промежуточного теплоносителя. Возможна организация

движения теплоносителя относительно газового потока как в прямоточном, так и противоточном направлении. Геометрические параметры охлаждающего тракта определяются на расчетном режиме. В качестве расчетного режима выбирается наиболее теплонапряженный режим работы ПВРД. В модели предусмотрен учет влияния оребрения поверхности, которое определяется коэффициентом эффективности оребрения и эффективным коэффициентом теплоотдачи с учетом оребрения.

Математическая модель теплообменного аппарата представляет собой модель трубчатого теплообменного аппарата с перекрестно-прямоточным или перекрестно-противоточным течением теплоносителей. Расчет параметров теплоносителя во внутритрубном пространстве основывается на дифференциальном подходе (по аналогии с рубашкой охлаждения). Параметры внешнего теплоносителя, распределенного по высоте канала, в котором расположен ТА, осредняются при прохождении каждого захода.

Литература:

1. Аронов Д.И., Клягин В.А. Перспективные методы организации тепловой защиты гиперзвуковых летательных аппаратов // Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей». 2021. № 1. С. 52–66. DOI: 10.38013/2542-0542-2021-1-52-66.

2. Полев А.С., Грунин А.Н., Шлякотин В.Е., Алендарь А.Д. Исследование параметров и характеристик комбинированной силовой установки параллельной схемы перспективного высокоскоростного пассажирского самолета //Авиационные двигатели. 2022. № 3 (16). С. 15 – 24. DOI: 10.54349/26586061_2022_3_15.

Mathematical model of a Turbine-Based Combined Cycle Propulsion with a dual-circuit cooling system

Grunin A.N., Siluyanova M.V.
MAI, Moscow, Russia

Combined cycle turbine power plants (TBCC) of high-speed aircraft operate at high thermal loads. The total temperature of the air flow at the entrance to the propulsion system at a flight speed corresponding to the Mach 5 number exceeds 1200 K, and the temperature of the gas mixture in the combustion chamber reaches 2500 K. In these conditions, the only source of the cooling resource is the fuel on board the aircraft. The use of hydrocarbon fuel for cooling heat-stressed TBCC elements is limited in resource due to the process of coke deposition on the surface of the cooling channels. The introduction of an additional circuit with an intermediate refrigerant into the cooling system will allow the unit (heat exchanger) critical for coke deposition to be moved outside the cooled engine path. At the same time, this coolant must be chemically inert, non-explosive and environmentally safe.

As part of the work, a mathematical model of a combined power plant with a cooling system using an intermediate coolant was developed. This model includes blocks for calculating the parameters and characteristics of a flat air intake, a ramjet engine circuit, a gas turbine circuit, a heat exchanger and a ramjet engine cooling path.

With the help of a mathematical model of the cooling path of a ramjet engine, a step-by-step calculation of the parameters of the intermediate coolant is carried out. It is possible to organize the movement of the coolant relative to the gas flow in both forward and countercurrent directions. The geometric parameters of the cooling path are determined in the design mode. The most heat-stressed mode of operation of the ramjet engine is selected as the design mode. The model takes into account the effect of surface finning, which is determined by the finning efficiency coefficient and the effective heat transfer coefficient taking into account the finning.

The mathematical model of a heat exchanger is a model of a tubular heat exchanger with a transverse or countercurrent flow of heat carriers. The calculation of the parameters of the coolant in the inner space of the pipe is based on a differential approach (by analogy with the cooling path). The parameters of the external coolant distributed along the height of the channel in which the heat exchanger is located are averaged during each approach.

Ультрабедные режимы горения многокомпонентного водородосодержащего топлива в условиях аэродинамического противотока

Гурьянов А.И., Евдокимов О.А., Веретенников С.В., Кононова В.В.
РГАТУ им. П.А. Соловьёва, г. Рыбинск, Россия

Среди общих проблем устройств сжигания топлива главными являются: достижение высокой полноты сгорания, широкого концентрационного диапазона устойчивого горения, сокращение выбросов загрязняющих атмосферу веществ. Доступные результаты исследований различных авторов показали, что организация горения в условиях закрутки и противотока течения позволяет обеспечить выполнение большинства из перечисленных требований. В подавляющем большинстве известных исследований отмечено, что добавка водорода или водородосодержащего многокомпонентного синтез-газа к основному углеводородному топливу позволяет увеличить скорость горения и полноту сгорания, снизить выбросы загрязняющих веществ. Однако в литературе практически отсутствуют исследования, направленные на изучение горения водородосодержащего многокомпонентного топлива в газодинамическом противотоке. Данная работа посвящена описанию особенностей горения водородосодержащего многокомпонентного топлива в условиях противотока, представляющих интерес с точки зрения возможностей расширения концентрационного диапазона устойчивого горения и сокращения эмиссионных выбросов и разработке на основе полученных данных противоточного горелочного модуля для камеры сгорания ГТУ.

В рамках выполненного комплекса экспериментальных исследований выявлен положительный эффект влияния добавок к метану синтез-газа на концентрационный предел устойчивого горения. Анализ результатов исследований показал, что диапазон устойчивого горения синтез-газа в сравнении с метаном расширяется в 4 раза при объёмной доле синтез газа в диапазоне от 10 до 80 %. Это связанно с ростом процента водорода в составе смеси. При 100% добавке синтез-газа появляется возможность значительно расширить диапазон устойчивого горения до значений коэффициента избытка воздуха 8 и более.

Результаты исследований показали, что перевод устройств горения на синтетический газ сопровождается двукратным снижением эмиссии оксидов азота во всем концентрационном диапазоне устойчивого горения, относительно горения метана. Объёмная доля целесообразной добавки синтез-газа, составляющая 15%, позволяет сократить эмиссию оксидов азота при горении в условиях газодинамического противотока в 1,5 раза относительно горения метана во всём диапазоне по коэффициенту избытка воздуха. Эмиссия несгоревших углеводородов в богатой области уменьшается 7,7 раз, в области бедного горения снижается в 1,8 раза, в случае стехиометрического горения концентрация уменьшается в 42 раза. Эмиссия монооксида углерода в области бедного горения снижается в 1,7 раза, в области богатого горения в 4 раза, в случае стехиометрического сценария протекания реакций горения в 2,5 раза.

На основе экспериментальных данных был проведён газодинамический и геометрический расчёт концептуальной модели противоточного горелочного модуля, осуществляющего низкоэмиссионное сжигание топливной смеси метана и синтез-газа в широком диапазоне коэффициента избытка воздуха.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ грант № 22-29-20220.

Ultralean regime of combustion of a multicomponent hydrogen-containing fuel under conditions of aerodynamics countercurrent

Guryanov A.I., Evdokimov O.A., Veretennikov S.V., Kononova V.V.
RSATU, Rybinsk, Russia

Among the general problems of fuel combustion devices, the main ones are: achieving high combustion efficiency, a wide concentration range of stable combustion, and reducing emissions of atmospheric pollutants. The available results of studies by various authors have shown that the organization of combustion under conditions of swirling and countercurrent flow makes it possible to meet most of the listed requirements. In the vast majority of well-known studies, it was noted that

the addition of hydrogen or a hydrogen-containing multicomponent synthesis gas to the main hydrocarbon fuel makes it possible to increase the combustion rate and combustion efficiency, and reduce pollutant emissions. However, there are practically no studies in the literature aimed at studying the combustion of a hydrogen-containing multicomponent fuel in a gas-dynamic countercurrent. This work is devoted to describing the features of combustion of a hydrogen-containing multicomponent fuel under countercurrent conditions, which are of interest from the point of view of the possibility of expanding the concentration range of stable combustion and reducing emissions, and developing a countercurrent burner module for the gas turbine combustion chamber based on the obtained data.

Within the framework of the performed complex of experimental studies, a positive effect of the influence of additives to methane of synthesis gas on the concentration limit of stable combustion was revealed. An analysis of the research results showed that the range of stable combustion of synthesis gas in comparison with methane expands by 4 times with a volume fraction of synthesis gas in the range from 10 to 80%. This is due to an increase in the percentage of hydrogen in the mixture. With a 100% addition of synthesis gas, it becomes possible to significantly expand the range of sustainable combustion to values of the excess air coefficient of 8 or more.

The results of the research showed that the transfer of combustion devices to synthetic gas is accompanied by a twofold decrease in the emission of nitrogen oxides in the entire concentration range of stable combustion, relative to the combustion of methane. The volume fraction of an expedient addition of synthesis gas, which is 15%, makes it possible to reduce the emission of nitrogen oxides during combustion under conditions of gas-dynamic counterflow by 1.5 times relative to the combustion of methane in the entire range by the excess air coefficient. The emission of unburned hydrocarbons in the rich region decreases by 7.7 times, in the lean combustion region it decreases by 1.8 times, in the case of stoichiometric combustion, the concentration decreases by 42 times. The emission of carbon monoxide in the region of poor combustion is reduced by 1.7 times, in the region of rich combustion by 4 times, in the case of a stoichiometric scenario of combustion reactions, by 2.5 times.

On the basis of experimental data, a gas-dynamic and geometric calculation of a conceptual model of a counterflow burner module was carried out, which performs low-emission combustion of a methane and synthesis gas fuel mixture in a wide range of excess air ratio.

The work was financially supported by the Russian Science Foundation (grant no. 22-29-20220).

Повышение точности сборки роторов газотурбинных двигателей путем контроля их динамических характеристик

Дворяк П.А., Катанов М.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Один из показателей, определяющих надёжность и долговечность газотурбинного двигателя, - уровень его вибраций. Источники вибрации: движение рабочего тела (воздуха и газа), неуравновешенные силы вращающихся роторов и вибрации летательного аппарате. Неуравновешенные силы вызываются разбалансировкой роторов на рабочих режимах работы двигателя от термических, режимных, упругопластических деформаций конструкции, а их уровень определяется динамичностью роторов. Динамичность ротора определяется его характеристиками: 1) частотой собственных колебаний; 2) формой колебаний; 3) декрементом колебаний по соответствующей форме.

Исходные динамические характеристики (ДХ) роторов формируются при сборке. Они определяются величинами радиальных и осевых натягов в посадках дисков, которые зависят как от качеств поверхностных слоёв посадочных поверхностей, так и от геометрических и механических параметров элементов резьбовых соединений. Геометрические и механические погрешности изготовления дисков и элементов резьбовых соединений приводят к заметному отклонению характеристик от номинальных значений даже для серийных изделий. Так диапазон частот собственных колебаний партии роторов КВД составляет 265…285 Гц, а вытяжка стяжных болтов ротора ТВД при заданном крутящем моменте – 0,05…0,11 мм.

Поэтому, необходим как контроль динамических характеристик при сборке роторов, так и стяжных шпилек, и болтов.

Определение ДХ регламентируется нормативными документами, например, определение динамической подвижности методом удара. Он хорошо работает для сплошных роторов и валов. Однако, применение данного метода для составных роторов ГТД затруднительно, виду наличия в спектре вибраций большого числа частот. Они – то ли возбудятся при постоянной частоте вращения ротора, то ли нет. Для составных роторов рекомендуется использовать метод дисбалансного вибровозбуждения. Этот способ позволяет установить ДХ при постоянных частотах вибровозбуждения в диапазоне рабочих оборотов роторов двигателя под воздействием реального кругового возбуждения ротора его остаточными дисбалансами – как в работе.

В данной работе приводится: методика и средства определения ДХ роторов на всех этапах сборки двигателя методом дисбалансного вибровозбуждения, полученные результаты для партии двигателей, а также сравнение ЧСК роторов при сборке с ЧСК на рабочем режиме работы двигателей при стендовых испытаниях.

1. Суслов А.Г., Дальский А.М., Научные основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2002. 684 с. С илл.

2. Зенкин А.С., Арпентьев Б.М., Сборка неподвижных соединений термическими методами. – М.: Машиностроение, 1987. – 128 с., ил.

3. Гельфанд М. Л., Ципенюк Я.И., Кузнецов О.К., Сборка резьбовых соединений. М., «Машиностроение», 1978. 109 с. с ил.

4. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./ Ред. Совет: В 41 В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1981 – Т. 5. Измерения и испытания. – Под ред. М.Д. Генкина. 1981. 496 с. ил.

Increasing the accuracy of assembly of rotors of gas turbine engines by control of their dynamic characteristics

Dvoryak P.A., Katanov M.A.
MAI, Moscow, Russia

One of the indicators that determine the reliability and durability of a gas turbine engine is the level of its vibrations. Sources of vibration: movement of the working fluid (air and gas), unbalanced forces of rotating rotors and aircraft vibrations. Unbalanced forces are caused by the unbalance of the rotors in the operating range of the engine from thermal, elastic-plastic deformations of construction and their level is determined by the dynamics of the rotors. The dynamics of the rotor is determined by its characteristics: 1) the frequency of natural oscillations; 2) the form of oscillations; 3) decrement of fluctuations according to the corresponding form.

The initial dynamic characteristics (DC) of the rotors are formed during assembly. They are determined by the values of radial and axial interferences in the disk fits, which depend both on the quality of the surface layers, contact surfaces and on the geometric and mechanical parameters of the threaded joint elements. Geometrical and mechanical errors in the manufacture of disks and elements of threaded connections lead to a noticeable deviation of characteristics from the nominal values, even for serial products. Thus, the frequency range of natural vibrations of a batch of high pressure compressor rotors is 265…285 Hz, and the exhaust of the high pressure turbine rotor tie bolts at a given torque is 0.05…0.11 mm. Therefore, it is necessary both to control the dynamic characteristics at assembly stage of rotors, as well as the tie rods and bolts.

The definition of DH is regulated by regulatory documents, for example, the definition of dynamic mobility by the impact method. It works well for solid rotors and shafts. However, the application of this method for composite GTE rotors is difficult, due to the presence of a large number of frequencies in the vibration spectrum. They are either excited at a constant rotor speed or not. For composite rotors, it is recommended to use the method of unbalanced vibration excitation. This method allows you to set the DC at constant frequencies of vibration excitation in the of operating range of the engine rotors under the influence of real circular excitation of the rotor by its residual imbalances - as in operation.

The report provides: methodology and means for determining the rotors DC at all stages of engine assembly by the method of unbalanced vibration excitation, the results obtained for a batch of engines, a comparison of the natural oscillation frequency of the rotors during assembly with the natural oscillation frequency in the operating range of the engines during bench tests.

1. Suslov A.G., Dalsky A.M., Scientific foundations of mechanical engineering technologies. M.: Mashinostroenie, 2002. 684 p. From ill.

2. Zenkin A.S., Arpentiev B.M., Assembly of rigid joints by thermal methods. - M .: Mashinostroenie, 1987. - 128 p., ill.

3. M. L. Gel'fand, Ya. I. Tsipenyuk, and O. K. Kuznetsov, Assembly of threaded joints. M., "Engineering", 1978. 109 p. from ill.

4. Vibrations in technology: Handbook. In 6 volumes / Ed. Tip: At 41 V.N. Chelomey (prev.). - M .: Mashinostroenie, 1981 - T. 5. Measurements and tests. - Ed. M.D. Genkin. 1981. 496 p. ill.

Оптимизация форм разрядной камеры и электродов ионно-оптической системы высокочастотного ионного двигателя

Демченко Д.С., Абгарян В.К., Мельников А.В., Пейсахович О.Д.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время имеется интерес к разработке высокочастотных ионных двигателей (ВЧИД), которые могут быть использоваться в качестве двигателей коррекции на современных космических аппаратах. На сегодняшний день в мире были разработаны и исследованы модели ВЧИД, которые в основном имеют простые формы разрядных камер (РК) (цилиндрические, полусферические, конические) и электродов ионно-оптической системы (ИОС) (плоские и с незначительным прогибом). Электроды с небольшим прогибом обычно используются в больших двигателях для уменьшения влияния термопластичной деформации электродов, нагреваемых при работе двигателя. Плоские электроды чаще используются в ионных двигателях малых типоразмеров.

В рамках данной работы решалась задача об определении оптимальной формы стенки разрядной камеры и электродов ИОС для ВЧИД с диаметром пучка 160 мм. Для этого была разработана численная инженерная модель расчета параметров плазмы индуктивного разряда, позволяющая определить распределения концентрации ne и температуры Te электронов по объёму РК и провести такую оптимизацию форм РК и электродов ИОС. Критерием оптимизации являлась тяга двигателя, рассчитываемая из значений ne и Te в объеме плазмы вблизи электродов ИОС.

В результате при рассмотрении класса сферических и эллипсоидальных поверхностей РК была определена её оптимальная форма и форма электродов ИОС. Наибольшей величины тяги удалось достигнуть при эллипсоидальной РК с отношением её высоты к радиусу, равном 0.3, и с электродами, имеющими поверхность в виде сегмента сферической поверхности с относительной глубиной прогиба, равной 0.12. Согласно расчетным оценкам использование оптимальной конфигурации позволило увеличить тягу на 14% по сравнению с исходной конфигурацией (полусферической РК и плоскими электродами ИОС).

Optimization of the forms of the discharge chamber and grids of the ion-extaction system of a radio-frequency ion thruster

Demchenko D.S., Abgaryan V.K., Melnikov A.V., Peysakhovich O.D.
MAI, Moscow, Russia

At present, there is interest in the development of radio-frequency ion thrusters (RIT) that can be used as correction thrusters on modern spacecraft. To date, RIT models have been developed and studied in the world, which mainly have simple shapes of discharge chambers (DC) (cylindrical, hemispherical, conical) and grids of the ion-extraction system (IES) (flat and with a slight deflection). Slightly deflected grids are commonly used in large thrusters to reduce the effect of thermoplastic deformation of the grids heated up by the thrusters. Flat grids are more commonly used in small ion thrusters.

Within the framework of this work, we solved the problem of determining the optimal shape of the discharge chamber wall and grids of the IES for RIT with a beam diameter of 160 mm. For this, a numerical engineering model for calculating the parameters of an inductive discharge plasma was developed, which makes it possible to determine the distributions of the concentration ne and temperature Te of electrons over the volume of the DC and to carry out such an optimization of the shapes of the DC and the grids of the IES. The optimization criterion was the thruster thrust calculated from the values of ne and Te in the plasma volume near the IES grids.

As a result, when considering the class of spherical and ellipsoidal surfaces of the DC, its optimal shape and the shape of the IES grids were determined. The greatest thrust was achieved with an ellipsoidal DC with a ratio of its height to radius equal to 0.3, and with grids having a surface in the form of a segment of a spherical surface with a relative deflection depth equal to 0.12. According to the calculated estimates, the use of the optimal configuration made it possible to increase the thrust by 14% compared to the initial configuration (hemispherical DC and flat IES grids).

Исследование композиционных порошковых материалов, получаемых технологией термического разложения тетракарбонила никеля, для газотермического напыления жаростойких, износостойких и прирабатываемых покрытий

[1]Дерягин А.О., [1]Вертен М.А., [2]Бикетова Л.В., [2]Лисаков Ю.Н.

[1]ООО «Имхотеп», г. Рыбинск, Россия

[2]ООО «Институт Гипроникель», г. Санкт-Петербург, Россия

Опыт в изготовлении и ремонте деталей ГТД и ГТУ позволил поставить акценты на применение композиционных порошковых материалов в качестве газотермических покрытий и расширение областей их применения ввиду создания новых материалов и технологий их производства. Порошковые материалы на никелевой основе применяются для создания жаростойких, износостойких, антифрикционных, коррозионностойких покрытий, для создания инструментов на металлической связке, а также в деталях радиотехники. Производство композиционных порошковых материалов на основе никеля осуществляется различными способами, в том числе электротермическим, химическим, путем распыления и др. Технология получения порошковых материалов путем термического разложения тетракарбонила никеля имеет ряд преимуществ: низкие температуры процесса; доступность исходных веществ; простота аппаратного оформления; возможности полной автоматизации и безотходности.

В данной работе производится осаждение никеля на плакируемый материал графита путем термического разложения тетракарбонила никеля в виброкипящем слое. В процессе металлизации производился забор пробы полученного композиционного порошкового материала для последующего химического анализа на содержание в них никеля.

В ходе работы был получен композиционный порошковый материал НПГ-75 на установке получения композиционных порошков с помощью технологии синтеза и разложения тетракарбонила никеля, а также результаты химического анализа за каждый этап взятия пробы. Основная цель работы заключалась в определении зависимости содержания никеля в плакирующем материале от продолжительности карбонильной обработки. Было установлено, что при содержании никеля около 50% значительная часть плоскости графитовых чешуек не охвачена никелевым покрытием. Формирование полной капсулы завершается при содержании никеля в композиции 65-70%, а при содержании никеля 80% свободные участки поверхности графита практически отсутствуют.

Литература:

1. Андриевский, Р.Л. Наноструктурные материалы / Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. — Москва: Академия, 2005. — 192 с.

2. Козырев В.Ф. Разработка и внедрение новых и совершенствование существующих технологических процессов карбонильной металлургии никеля: дис. докт. техн. наук: 05.16.02. – Санкт-Петербургский Государственный горный институт. СПБ, 2007 – 228 с.

Investigation of composite powder materials obtained by the technology of thermal decomposition of nickel tetracarbonyl for gas-thermal spraying of heat-resistant, wear-resistant and workable coatings

[1]Deryagin A.O., [1]Verten M.A., [2]Biketova L.V., [2]Lisakov Y.N.
[1]Imhotep LLC, Rybinsk, Russia
[2]Gipronikel Institute LLC, Saint-Peterburg, Russia

Experience in the manufacture and repair of GTE and GTI parts allowed us to focus on the use of composite powder materials as gas-thermal coatings and the expansion of their application areas due to the creation of new materials and technologies for their production. Nickel-based powder materials are used to create heat-resistant, wear-resistant, antifriction, corrosion-resistant coatings, to create tools on a metal bundle, as well as in radio engineering parts. The production of nickel-based composite powder materials is carried out in various ways, including electrothermal, chemical, by spraying, etc. The technology of obtaining powder materials by thermal decomposition of nickel tetracarbonyl has a number of advantages: low process temperatures; availability of starting materials; simplicity of hardware design; full automation and waste-free capabilities.

In this work, nickel is deposited on the graphite clad material by thermal decomposition of nickel tetracarbonyl in a vibrating boiling layer. During the metallization process, a sample of the resulting composite powder material was taken for subsequent chemical analysis for the nickel content in them.

In the course of the work, the composite powder material NPG-75 was obtained at the facility for the production of composite powders using the technology of synthesis and decomposition of nickel tetracarbonyl, as well as the results of chemical analysis for each stage of sampling. The main purpose of the work was to determine the dependence of the nickel content in the cladding material on the duration of carbonyl treatment. It was found that with a nickel content of about 50%, a significant part of the plane of graphite flakes is not covered by a nickel coating. The formation of a complete capsule is completed when the nickel content in the composition is 65-70%, and when the nickel content is 80%, there are practically no free areas of the graphite surface.

References:

1. Andrievsky, R.L. Nanostructured materials / R.A. Andrievsky, A.V. Ragulya. — M.: Academy, 2005. - 192 p.

2. Kozyrev V.F. Development and implementation of new and improvement of existing technological processes of nickel carbonyl metallurgy: dis. Candidate of Technical Sciences. doct. Technical sciences: 05.16.02. – St. Petersburg State Mining Institute. St. Petersburg, 2007. - 228 p.

Химическое травление как элемент постобработки поверхности деталей ДЛА, полученных методом селективного лазерного сплавления из сплава AlSi10Mg

Еремкина М.С., Асланян И.Р.
МАИ, г. Москва, Россия

В последнее время при производстве деталей двигателей летательных аппаратов (ДЛА) широко применяются технологии селективного лазерного сплавления (СЛС) благодаря неоспоримым преимуществам, таким как возможность получения деталей сложной формы с наличием внутренних труднодоступных каналов, скорость получения сложных элементов и др [1-3]. При этом после изготовления металлические детали проходят дальнейшую постобработку. Помимо удаления поддерживающих элементов и, в некоторых случаях, термообработки, выращенные детали часто нуждаются в пескоструйной обработке от частиц неспеченного порошка, шлифовке или полировке поверхностного слоя для снижения шероховатости. Ввиду особенностей геометрии не все детали, полученные методом СЛС, могут быть очищены от налипших микрочастиц порошка, имеющих низкую адгезию с готовой поверхностью изделия, традиционными способами [4]. Например, применение пескоструйного способа для очистки теплообменных агрегатов, внутренняя поверхность которых имеет развитую многоканальную структуру, показала неудовлетворительные результаты. Для деталей с развитой геометрической поверхностью целесообразно использовать химические методы очистки поверхности [5].

В данной работе была предложена технология очистки поверхности теплообменных аппаратов, полученных методом СЛС из порошка сплава AlSi10Mg, методом травления и последующего осветления поверхности.

Травление осуществлялось в щелочном растворе едкого натра в течении 1 минуты при повышенной температуре. После чего на поверхности образцов наблюдался темный налет из нерастворимых в едком натре составляющих алюминиевого сплава (марганец, железо и т.д.). Для удаления этого налета проводили процесс осветления поверхности в 30% растворе азотной кислоты в течение 10 секунд при комнатной температуре. Визуально после осветления, темный налет с образцов был удален, образцы приобрели светлый цвет.

При проведении эксперимента была проведена оценка шероховатости и потери массы. Результаты исследования показали, что после травления шероховатость образцов снижается на 26,4 %, а потеря массы составила 3,26%. Изменения в микроструктуре и шероховатости поверхности после осветления не наблюдалось.

Таким образом, установлено, что очистку поверхностей деталей ДЛА, полученных методом СЛС из сплава AlSi10Mg, от частиц неспеченного порошка возможно осуществлять травлением поверхности в растворе едкого натра с последующим осветлением.

Литература:

1. Автушенко А.А., Басов А.А., Мальцев И.Е., Рипецкий А.В. «Адаптированная к аддитивным технологиям изготовления методика проектирования теплообменных устройств радиоэлектронной аппаратуры» // «Цветные металлы», №12 (924), 2019, с.69-76.

2. Дынин Н.В., Иванова А.О., Хасиков Д.В., Оглодков М.С. Селективное лазерное сплавление алюминиевых сплавов(обзор)//Труды ВИАМ, 2017. №8 (56). С. 12–23.

3. Агапов А.В., Ионов А.В. Применение материалов и методов аддитивных технологий в проектировании и изготовлении элементов газотурбинных двигателей. Новые материалы XXI века: разработка, диагностика, использование. // Материалы I Международной молодёжной научной конференции. Москва, 2020. С. 6-17.

4. Суслов А.Г. Качество поверхности слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000. С. 320.

5. Д. В. Кравченко, И. А. Козлов, А. А. Никифоров. «Способы подготовки поверхности алюминиевых сплавов для нанесения гальванических покрытий (обзор)» // Труды ВИАМ. – 2021. – № 6(100). – С. 82-99. – DOI 10.18577/2307-6046-2021-0-6-82-99. – EDN YSTRTQ.

Post-processing of the surface of aircraft engine parts obtained by selective laser melting from AlSi10Mg alloy

Eremkina M.S., Aslanyan I.R.
MAI, Moscow, Russia

Recently, selective laser melting (SLM) technologies have been widely used in the production of aircraft engine parts due to undeniable advantages, such as the possibility of obtaining parts of complex shape with the presence of internal hard-to-reach channels, the speed of obtaining complex elements, etc. [1-3]. At the same time, after manufacturing, metal parts undergo further post-processing. In addition to removing the supporting elements and, in some cases, heat treatment, the grown parts often need sandblasting from untreated powder particles, grinding or polishing the surface layer to reduce roughness. Due to the geometry features, not all parts obtained by the SLS method can be cleaned from adhering powder microparticles having low adhesion to the finished surface of the product by traditional methods [4]. For example, the use of a sandblasting method for cleaning heat exchange units, the inner surface of which has a developed multi-channel structure, has shown unsatisfactory results. For parts with a developed geometric surface, it is advisable to use chemical methods of surface cleaning [5].

In this paper, a technology was proposed for cleaning the surface of heat exchangers obtained by the SLM method from AlSi10Mg alloy powder, by etching and subsequent surface clarification.

Etching was carried out in an alkaline solution of caustic soda for 1 minute at elevated temperature. After that, a dark coating of aluminum alloy components insoluble in caustic soda (manganese, iron, etc.) was observed on the surface of the samples. To remove this plaque, the surface was lightened

in a 30% nitric acid solution for 10 seconds at room temperature. Visually, after lightening, the dark plaque was removed from the samples, the samples acquired a light color.

During the experiment, roughness and mass loss were evaluated. The results of the study showed that after etching, the roughness of the samples decreases by 26.4%, and the mass loss was 3.26%. No changes in the microstructure and surface roughness were observed after lightening.

Thus, it has been established that the cleaning of the surfaces of aircraft engine parts obtained by the SLM method from the AlSi10Mg alloy from untreated powder particles can be carried out by etching the surface in a solution of caustic soda followed by clarification.

1. Avtushenko A.A., Basov A.A., Maltsev I.E., Ripetskiy A.V. "Methodology of designing heat exchange devices of radio-electronic equipment adapted to additive manufacturing technologies" // "Non-ferrous metals", №12 (924), 2019, pp.69-76.

2. Dynin N.V., Ivanova A.O., Khasikov D.V., Oglodkov M.S. Selective laser fusion of aluminum alloys (review)//Proceedings of VIAM, 2017. No. 8 (56). pp. 12-23.

3. Agapov A.V., Ionov A.V. Application of materials and methods of additive technologies in the design and manufacture of elements of gas turbine engines. New materials of the XXI century: development, diagnostics, use. // Materials of the I International Youth Scientific Conference. Moscow, 2020. pp. 6-17.

4. Suslov A.G. The quality of the surface layer of machine parts. M.: Mechanical Engineering, 2000. p. 320.

5. D. V. Kravchenko, I. A. Kozlov, A. A. Nikiforov. "Methods of surface preparation of aluminum alloys for electroplating (review)" // Proceedings of VIAM. – 2021. – № 6(100). – Pp. 82-99. – DOI 10.18577/2307-6046-2021-0-6-82-99. – EDN YSTRTQ.

Об изменении вклада основных источников шума двигателя при увеличении степени двухконтурности

Замтфорт Б.С., Беляев И.В.
ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Выполнено расчетное исследование шума для трех типовых пассажирских самолетов (ближнемагистрального с максимальной взлетной массой МТОМ = 63 т, среднемагистрального с МТОМ = 105 т и дальнемагистрального с МТОМ = 195 т) в классической компоновке с двумя двигателями, установленными под крылом. Степени двухконтурности двигателей и их тяги на взлетном режиме для этих самолетов были равны 9.0 и 10000 кгс; 4.5 и 18000 кгс; 14.7 и 30000 кгс, соответственно.

Расчеты шума самолетов на местности проводились с помощью комплекса программ ЦАГИ, позволяющего моделировать все основные источники шума силовой установки (вентилятор, компрессор низкого давления, камера сгорания, турбина и реактивная струя) для каждого из трех сертификационных режимов полета самолета – взлета, набора высоты и посадки, регламентируемых Главой 14 Тома I Приложения 16 ИКАО. При этом для вентилятора отдельно рассчитывались вклады тонального шума на частоте следования лопаток вентилятора, шума выбитых ударных волн и широкополосного шума вентилятора; их энергетическое суммирование дает общий шум вентилятора на соответствующем режиме.

В результате выполненного расчетного исследования получены количественные оценки вкладов различных источников шума вентилятора в общий уровень шума самолетов на местности. Показано, что при увеличении степени двухконтурности двигателя происходит перераспределение вкладов источников шума вентилятора в общий уровень шума: вклад тонального шума на частоте следования лопаток и вклад шума выбитых ударных волн снижаются, в то время как вклад широкополосного шума вентилятора увеличивается и для самолета с двигателями высокой степенью двухконтурности становится доминирующим. Для снижения этого источника шума представляется необходимым применение компоновок самолетов с верхним расположением двигателей, использующих эффект экранирования шума планером самолета, а также разработка новых способов снижения шума вентилятора, таких как широкополосные звукопоглощающие конструкции, что является крайне сложной научно-исследовательской задачей.

On the change in the contribution of the main sources of aeroengine noise with an increase of the bypass ratio

Zamtfort B.S., Belyaev I.V.
TsAGI, Zhukovsky, Russia

A study on noise level calculation was performed for three typical passenger aircraft (a short-haul aircraft with a maximum takeoff mass MTOM = 63t, a medium-haul aircraft with MTOM = 105t, and a long-haul aircraft with MTOM = 195 t) in a classical layout with two under-the-wing engines. The bypass ratios of the engines and their takeoff thrusts for these aircraft were 9.0 and 10,000 kgf; 4.5 and 18000 kgf; 14.7 and 30,000 kgf, respectively.

Community noise calculations for the aircrafts were carried out using the TsAGI software package, which makes it possible to simulate all the main sources of power-plant noise (fan, low-pressure compressor, combustion chamber, turbine, and jet stream) for each of the three certification aircraft flight modes – takeoff, climb and landing, regulated by Chapter 14 Volume I Annex 16 ICAO. In this case, for the fan the contributions of tonal noise at the fan blade passage frequency, the shock wave noise, and the broadband fan noise were calculated separately; their energy summation gives the total fan noise in the corresponding mode.

As a result of the computational study performed, quantitative estimates of the contributions of various fan noise sources to the overall levels of community noise for the aircrafts were obtained. It is found that as the bypass ratio of the engines increases, the contributions of fan noise sources to the total noise level are redistributed: the contribution of the tonal noise at the blade passage frequency and the contribution of shock wave noise decrease, while the contribution of broadband fan noise increases and becomes dominant for aircraft with high-bypass-ratio engines. To reduce this source of noise, it seems necessary to use aircraft layouts with over-the-wing engines that make use of noise shielding by the airframe of the aircraft, as well as to develop novel ways to reduce broadband fan noise, such as broadband acoustic liners, which is a formidable research problem.

Способы повышения параметров импульсных вакуумно-дуговых плазменных двигателей для малых космических аппаратов

Золотухин Д.Б., Юшков Ю.Г., Тюньков А.В., Michael Keidar
ТУСУР, г. Томск, Россия

Импульсные вакуумно-дуговые двигатели, способные создавать тягу уровня единиц микроньютон при потребляемой мощности менее сотни Ватт находят свое применение в двигательных системах малых космических аппаратах (таких как кубсаты). Вместе с тем, поиск способов повышения таких параметров как ресурс (число импульсов на отказ), тяга и удельная тяга способствует значительному расширению области применения таких двигательных систем. Данная работа посвящена обзору основных достигнутых к настоящему моменту результатов. Показано, что кратное увеличение ресурса вакуумно-дуговых двигателей может быть достигнуто за счет оптимизации межэлектродного промежутка и уровня разрядной мощности, а также осаждения на межэлектродный промежуток защитного сверхтвердого борсодержащего покрытия, снижающего плазменную эрозию его материала. Умеренное повышение уровня тяги одновременно с удельной тягой может быть достигнуто за счет более полной утилизации электронного тока использованием аблирующего материала анода, а многократного (в десятки – сотни раз) повышения упомянутых параметров можно добиться добавлением более мощной второй ступени на основе магнитоплазмодинамического ускорения плазмы во внешнем неоднородном магнитном поле.

Работа была поддержана грантом Президента Российской Федерации для молодых ученых-кандидатов наук (МК-1399.2022.4).

Литература:

1. D.B. Zolotukhin, A.V. Tyunkov, Yu.G. Yushkov, E.M. Oks, M. Keidar. Improvement of micro-cathode arc thruster lifetime by deposition of boron-containing coating // Journal of Propulsion and Power. – 2020. – Vol. 36, No. 5, P. 744-751.

2. D. Zolotukhin, S. Hurley, M. Keidar. Anode ablation and performance improvement of micro-cathode arc thruster // Plasma Sources Science and Technology. – 2019. – Vol. 28, No. 3, P. 034001.

3. D.B. Zolotukhin, S.R.P. Bandaru, K.P. Daniels, I.I. Beilis, M. Keidar. Demonstration of electric micropropulsion multimodality // Science Advances. – 2022. – Vol.8, No. 36, P. eadc9850.

Methods for improving the parameters of pulsed vacuum arc plasma thrusters for small satellites

Zolotukhin D.B., Yushkov Y.G., Tyunkov A.V., Keidar M.
TUSUR, Tomsk, Russia

Pulsed vacuum arc thrusters producing micro-Newton-level thrust with a power consumption of less than a hundred watts are used in the propulsion systems of small spacecraft (such as CubeSats). At the same time, the search for ways to increase such parameters as lifetime (number of pulses till final failure), thrust and thrust-to-power ratio, contributes to a significant expansion of the scope of such propulsion systems. This work is devoted to a review of the main results achieved so far. We show that a multiple increase in the lifetime of vacuum arc thrusters can be achieved by optimizing the inter-electrode gap and the level of discharge power, as well as by depositing a protective super-hard boron coating on the inter-electrode gap, which reduces the plasma erosion of its material. A moderate increase in the thrust level simultaneously with thrust-to-power ratio can be achieved due to a more complete utilization of the electron current using the ablated anode material, and a multiple (in tens to hundreds of times) increase in the above parameters can be achieved by adding a more powerful second stage based on magnetoplasmodynamic plasma acceleration in an external inhomogeneous magnetic field.

The work was supported by a grant from the President of the Russian Federation for young scientists (MK-1399.2022.4).

References:

1. D.B. Zolotukhin, A.V. Tyunkov, Yu.G. Yushkov, E.M. Oks, M. Keidar. Improvement of micro-cathode arc thruster lifetime by deposition of boron-containing coating // Journal of Propulsion and Power. – 2020. – Vol. 36, No. 5, P. 744-751.

2. D. Zolotukhin, S. Hurley, M. Keidar. Anode ablation and performance improvement of micro-cathode arc thruster // Plasma Sources Science and Technology. – 2019. – Vol. 28, No. 3, P. 034001.

3. D.B. Zolotukhin, S.R.P. Bandaru, K.P. Daniels, I.I. Beilis, M. Keidar. Demonstration of electric micropropulsion multimodality // Science Advances. – 2022. – Vol.8, No. 36, P. eadc9850.

Разработка топливного насоса для системы авиационного ГТД

Ильинская О.И., Лепешкин А.Р., Козлов И.О.
МАИ, г. Москва, Россия

Работа посвящена актуальной теме – разработке перспективного топливоподкачивающего центробежного насоса для топливной системы авиационного газотурбинного двигателя [1, 2]. В работе приведены требования к разрабатываемому изделию, приведено описание штатной конструкции насоса. Расчетным и экспериментальным путями проведен анализ влияния различных конструктивных доработок на технические характеристики (мощностную, напорную, кавитационную) и особенности работы топливоподкачивающего центробежного насоса.

Анализ результатов проделанной работы показывает, что перспективный центробежный насос по всем основным характеристикам таким, как перепад давления, потребляемая мощность и КПД стабильнее и лучше исходного насоса. Кроме того, при значительно меньшем перепаде давления и потребляемой мощности насоса достигнуто повышение эффективности подачи топлива в топливную систему авиационного газотурбинного двигателя.

Кроме того, используемые при проектировании нового топливоподкачивающего центробежного насоса конструкторские решения привели к улучшению внутренней герметичности и уменьшению массы изделия. Стоит отметить, что разрабатываемый перспективный топливоподкачивающий ЦН стал унифицированным из-за возможности использования на нескольких типах двигателей.

Литература:

1. Чигрин В.С., Белова С.Е. Системы топливопитания ГТД. Учебное пособие. Рыбинск: РГАТУ. 2005. 18 с.
2. Кувалдин А.Б., Лепешкин А.Р., Лепешкин С.А. Метод испытаний дисков тур-бомашин // Электричество. 2009. № 7. С. 33-38.

Development of a fuel pump for aviation GTD system

Ilinskaya O.I., Lepeshkin A.R., Kozlov I.O.
MAI, Moscow, Russia

The work is devoted to the current topic – the development of a promising fuel-pumping centrifugal pump for the fuel system of an aviation gas turbine engine [1, 2]. Detailed search for the requirements presented in the work. The existing de-sign of the pump is described and detailed for comparison with the developed design of the fuel-feeding centrifugal pump, its technical characteristics and features of op-eration. A comparison of the theoretical and experimental characteristics of standard and newly developed pumps is important for evaluating the efficiency of the new de-velopment in this work.

The analysis of the results of the work done shows that the newly developed prospective pump is more stable and better than the original pump in terms of all main characteristics such as pressure drop, power consumption and efficiency and increases the efficiency of fuel supply to the fuel system of the aviation gas turbine engine. At the same time, the pressure drop and the power consumption are much smaller.

In addition, when designing a new fuel-pumping centrifugal pump, the design solu-tions led to the improvement of internal tightness and reduction of the weight of the product. It is worth noting that the promising centrifugal fuel pump under develop-ment has become unified, as it is intended for use on four types of engines.

References:

1. Chigrin V.S., Belova S.E. System fuel supply GTD. Educational allowance. Rybinsk: RGATU. 2005. 18 p.
2. Kuvaldin A.B., Lepeshkin A.R., Lepeshkin S.A. Test method of turbomachine disks // Elektrichestvo. 2009. No. 7. S. 33-38.

Стандартная модель системы менеджмента качества организаций авиационного двигателестроения

Карепин П.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Для современных предприятий поиск решения проблемы достижения определенного уровня качества выпускаемой продукции становится основополагающей задачей, т.к. от этого зависит их конкурентоспособность, устойчивость в условиях нестабильности рынка, уровень доходов и пр. Достижение заданного уровня качества определяется совершенством системы управления организацией. Система управления организацией может быть рассмотрена как система систем. Одной из ее составляющих систем является система менеджмента качества (СМК). Для ее создания необходимо выбрать модель СМК, в соответствии с которой будет разработаны, привлечены и реализованы требуемые организационные структурные элементы, процессы, документы и ресурсы организации. Наиболее важное значение имеет стандартная модель СМК и, в частности, модель на основе требований стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Стремления разработчиков данного стандарта установить универсальные для любых организаций требования к СМК привело к появлению стандартов на отраслевые СМК, учитывающих специфические, ориентированные на особенности конкретных областей экономики, требования. Такие документы созданы с учетом специфики различных отраслей, включая аэрокосмическую сферу деятельности. На международном уровне в аэрокосмической отрасли разработкой стандартов занимается Международная аэрокосмическая группа по качеству (IAQG). Она выпускает стандарты международного уровня серии 9100, включая основополагающие стандарты 9100, 9110 и 9120, и вспомогательные руководящие материалы для реализации данных документов. С этого года

выпуск стандартов осуществляется совместно с SAE International (ранее SAE Американская ассоциация автомобильных инженеров). Курируя авиационный транспорт SAE International создала Стратегическую группу по качеству поставщиков аэрокосмических двигателей (AESQ) (2015 г.) и технический комитет G-22 (2013 г.). В рамках данного подразделения было разработано 8 стандартов серии 13000 включая стандарт AS13100-2021 «Требование к СМК для организаций по проектированию и производству авиационных двигателей». Стандарт устанавливает дополнительные требования в сравнении со стандартом 9100, которые составляют стандартную модель СМК для организаций, создающих авиационные двигатели. Данный стандарт поддерживается 13 документами RM13xxx представляющими собой справочные материалы для внедрения стандарта AS13100.

Standard model of the quality management system of aircraft engine manufacturing organizations

Karepin P.A.
MAI, Moscow, Russia

For modern enterprises, finding a solution to the problem of achieving a certain level of product quality becomes a fundamental task, because it determines their competitiveness, stability in an unstable market, the level of income, etc. The achievement of a given level of quality is determined by the perfection of an organization's management system. An organization's management system can be considered as a system of systems. One of its components is a quality management system (QMS). To create it, it is necessary to choose a QMS model, according to which the required organizational structural elements, processes, documents and resources of the organization will be developed, attracted and implemented. The most important is the standard model of QMS and, in particular, the model based on the requirements of GOST R ISO 9001-2015. The aspirations of the developers of this standard to establish universal requirements for QMS for any organization led to the emergence of standards for branch QMS, taking into account specific, focused on the specifics of specific areas of the economy, requirements. Such documents were created taking into account the specifics of various industries, including the aerospace sphere of activity. At the international level, the International Aerospace Quality Group (IAQG) develops standards in the aerospace industry. It develops international-level 9100 series standards, including the fundamental 9100, 9110 and 9120 standards, and supporting guidance materials for the implementation of these documents. Standards production has been conducted jointly with SAE International (formerly SAE American Association of Automotive Engineers) since this year. SAE International, overseeing aerospace transportation, created the Aerospace Engine Supplier Quality Strategic Group (AESQ) (2015) and Technical Committee G-22 (2013). Within this group, 8 standards of the 13000 series were developed, including AS13100-2021, «Quality Management System Requirements for Aero Engine Design and Production Organizations». The standard establishes additional requirements compared to Standard 9100, which constitute the standard QMS model for aircraft engine organizations. This standard is supported by 13 RM13xxx documents, which are reference materials for the implementation of AS13100 standart.

Использование анизотропии теплофизических свойств материалов созданных с применением аддитивных технологий при разработке теплонагруженных узлов и деталей энергетических установок

Киселёв В.П.
МАИ, г. Москва, Россия

Использование современных технологий при разработке и производстве деталей перспективных изделий является одним из необходимых условий обеспечения лидерства изготовителя в соответствующей отрасли промышленности. Так, например, применение аддитивных технологий получило своё широкое распространение в связи с возможностью использования их положительных свойств (низкий удельный вес, прочность, жаростойкость и т.д.), а также возможности задавать определенные свойства на локальных участках, как всей конструкции, так и отдельно взятого элемента.

С другой стороны, использование аддитивных технологий для изготовления теплонагруженных деталей заставляет инженеров учитывать особенности теплофизических свойств аддитивных материалов и зависимость этих свойств от параметров производства. В связи с тем, что аддитивные технологии, это прежде всего послойное наращивание и синтез объектов, то существующее разнообразие методов привело к появлению явления анизотропии механических свойств аддитивных материалов, а также зависимость этих свойств от режимов производства. В виду того, что наличие анизотропии механических свойств связано с изменением структуры материала в результате его изготовления, то нами выдвинуто предположение и, в дальнейшем, подтверждено экспериментально наличие анизотропии теплофизических свойств аддитивного материала полученного по технологии селективного лазерного сплавления. Также из литературы и наших исследований известно о существовании анизотропии теплопроводности аддитивных материалов, связанной с особенностями производственного процесса.

В настоящей работе планируется исследовать анизотропию теплопроводности (коэффициент теплопроводности в направлении построения образца и в перпендикулярном) образцов, произведённых с помощью селективного лазерного сплавления. Образцы изготовлены из трёх различных сплавов, широко применяемых при аддитивном производстве компонентов авиационной техники – сталь ЖС, титано-никелевый сплав и силумин.

Помимо измерения теплопроводности, также планируется исследование микроструктуры сплава с целью связывания анизотропии теплофизических свойств и микроструктуры. Ожидается обнаружение зависимости между выраженностью анизотропии микроструктуры и анизотропии теплопроводности.

The use of anisotropy of thermophysical properties of materials created using additive technologies in the development of heat-loaded units and parts of power units

Kiselev V.P.
MAI, Moscow, Russia

The use of modern technologies in the development and production of parts of promising products is one of the necessary conditions for ensuring the leadership of the manufacturer in the relevant industry. For example, the use of additive technologies has become widespread due to the possibility of using their positive properties (low specific gravity, strength, heat resistance, etc.), as well as the ability to set certain properties in local areas, both of the entire structure and of a single element.

On the other hand, the use of additive technologies for the manufacture of heat-loaded parts forces engineers to take into account the peculiarities of the thermophysical properties of additive materials and the dependence of these properties on production parameters. Due to the fact that additive technologies are primarily layer-by-layer build-up and synthesis of objects, the existing variety of methods has led to the appearance of the phenomenon of anisotropy of the mechanical properties of additive materials, as well as the dependence of these properties on production modes. In view of the fact that the presence of anisotropy of mechanical properties is associated with a change in the structure of the material because of its manufacture, we have put forward an assumption and, later, confirmed experimentally the presence of anisotropy of the thermophysical properties of the additive material obtained by selective laser fusion technology. Also, from the literature and our research, it is known about the existence of anisotropy of the thermal conductivity of additive materials associated with the peculiarities of the production process.

In this paper, it is planned to investigate the anisotropy of thermal conductivity (the coefficient of thermal conductivity in the direction of sample building and perpendicular) of samples produced by selective laser fusion. The samples are made of three different alloys widely used in the additive manufacturing of aircraft components – heat-resistant steel, titanium-nickel alloy and silumin.

In addition to measuring thermal conductivity, it is also planned to study the microstructure of the alloy in order to link the anisotropy of thermophysical properties and microstructure. It is expected to detect a relation between the severity of microstructure anisotropy and thermal conductivity anisotropy.

Экономические аспекты управления качеством метрологического обеспечения предприятий аэрокосмической отрасли

Кислых А.В., Монахова В.П., Ерикова А.М.
МАИ, г. Москва, Россия

Совершенствование организационных основ метрологического обеспечения измерений в системе менеджмента качества предприятия связано с внедрением процессного подхода при организации и управлении системой метрологического обеспечения измерений.

Эволюция подходов к разработке систем менеджмента качества, внедрение принципов TQM привели к развитию системы экономики качества (СЭК), в результате чего возникли направления, связанные с учетом и управлением затратами на качество.

Измерение расходов, связанных с обеспечением, гарантией качества, а также на понесенные потери вследствие несоответствия качества, позволяет выявить наиболее затратные области и оптимизировать процессы предприятия.

Для учёта и анализа затрат на качество применяют различные модели, наиболее распространенными из которых являются: модель предупреждения, оценки и отказов (PAF-модель); модель затрат на процесс (стоимостная модель процесса); модель стоимости жизненного цикла; модель сбалансированных оценок; модель Тагути «всеобщего блага общества» [1].

В данной работе представлена разработанная методика оценки затрат на качество метрологического обеспечения предприятия, построенная на основе модели затрат на процесс [2], обладающей рядом преимуществ при анализе процессов: она применима для любых процессов, обеспечивает возможность для непрерывного улучшения процессов, фокусирует внимание на необходимость постоянного снижения затрат на выполнение всех процессов.

В результате проведенного исследования определены основные действия процесса, идентифицированы элементы запланированных затрат на выполнение процесса (затрат на соответствие) и незапланированных затрат (затрат вследствие несоответствия); установлены повторяющиеся несоответствия в системе метрологического обеспечения предприятия и причины их появления, выявлены области для улучшения деятельности предприятия, что позволит значительно снизить стоимость метрологических работ на производстве за счет снижения затрат на несоответствие.

Economic aspects of quality management of metrological support of enterprises in the aerospace industry

Kislykh A.V., Monakhova V.P., Erikova A.M.
MAI, Moscow, Russia

Improving the organizational foundations of metrological assurance of measurements in the quality management system of an enterprise is associated with the introduction of a process approach in organizing and managing the system of metrological assurance of measurements.

The evolution of approaches to the development of quality management systems, the introduction of TQM principles led to the development of a quality economics system (QES), resulting in the emergence of areas related to the accounting and management of quality costs.

Measuring the costs associated with provision, quality assurance, and the losses incurred due to quality discrepancies, allows you to identify the most costly areas and optimize the processes of the enterprise.

For accounting and analysis of quality costs, various models are used, the most common of which are: the warning, evaluation and failure model (PAF-model); process cost model (process cost model); life cycle cost model; balanced valuation model; Taguchi's model of the "common good of society" [1].

This paper presents the developed methodology for estimating the costs of the quality of the metrological support of an enterprise, built on the basis of the process cost model [2], which has a number of advantages in the analysis of processes: it is applicable to any processes, provides an opportunity for continuous improvement of processes, focuses on the need for continuous reducing the cost of all processes.

As a result of the study, the main actions of the process were identified, the elements of the planned costs for the implementation of the process (compliance costs) and unplanned costs (costs due to non-compliance) were identified; recurring inconsistencies in the system of metrological support of the enterprise and the reasons for their occurrence were established, areas for improving the activities of the enterprise were identified, which will significantly reduce the cost of metrological work in production by reducing the cost of non-compliance.

Исследование особенностей горения метановоздушных диффузионных струй

Клюев А.Ю., Гурьянов А.И.
РГАТУ имени П.А. Соловьева, г. Рыбинск, Россия

Проектирование сложных технических систем, в частности камер сгорания газотурбинных двигателей, сопровождается рядом требований и ограничений, предъявляемых к их конструкциям, термогазодинамическим характеристикам. В связи с непрерывным ужесточением требований, возникает необходимость разработки новых концепций камер сгорания и способов организации горения в них. Одним из перспективных направлений развития энергетических устройств сжигания топлива является разделение зоны реакции и фронта пламени на множество мелкомасштабных зон и локальных фронтов пламени в них. Этот способ организации горения называется микрофакельной технологией сжигания. Результаты исследований формы, стабилизации, срывных характеристик мезо- и микромасштабных диффузионных пламен и пламен с предварительным смешением компонентов представлены в исследованиях [1-5]. Однако для разработки инженерных методов проектирования горелочных модулей камер сгорания, работающих с применением технологии микрофакельного сжигания, необходимо учитывать влияние масштабного фактора на процесс горения.

В работе выполнено численное моделирование реагирующих диффузионных ламинарных струй в трехмерной постановке. Исследование влияния масштабного фактора проведено на пяти масштабах: 10^-2; 5 · 10^-3; 10^-3; 5 · 10^-4 и 10^-4 м. За характерный размер, определяющий масштаб струи, принят диаметр топливного сопла.

В исследование проведен анализ профилей температуры в осевом и радиальных направлениях, который показал, что при значениях диффузионного числа Пекле до 10^1 и числа Рейнольдса до 10^2, возрастает влияние молекулярной диффузии на поток компонентов и для масштабов струй 10^-3; 5 · 10^-4 и 10^-4 м форма пламени становится сферической, что вызвано пренебрежимым влиянием на поток естественной конвекции. Поэтому массоперенос равномерно осуществляется в осевом и радиальном направлениях. На структуру струй двух других масштабов 10^-2 и 5 · 10^-3 м влияние естественной конвекции необходимо учитывать, поэтому диффузия в осевом пренебрежимо мала. Оценка влияния на поток естественных конвективных сил выполнена с помощью чисел Рэлея и Архимеда. При Ra < 10^3 и Ar < 10^3, влиянием естественной конвекции можно пренебречь.

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение фундаментальных научных исследований (шифр научной темы 0774-2020-0004; АААА-А20-120120790010-3).

1. Chou, S.K. Development of micro power generators – A review [Text] / S.K. Chou, W.M. Yang, K.J. Chua, J. Li, K.L. Zhang. – National University of Singapore 2010;16

2. Fernandez-Pello, A.C. Micropower generation using combustion: issues and approaches [Text] / A.C. Fernandez-Pello – Proceedings of the Combustion Institute 2002;29:883-99.

3. Wan, J. Recent progress in flame stabilization technologies for combustion based micro energy and power system [Text] / J. Wan, A. Fan. – Fuel, 2021, 286, 17 p.

4. Nakamura, Y. Progress in small-scale combustion [Text] / Y. Nakamura, J. Gao, T. Matsuoka. – Journal of thermal science and technology, 12(1), 2017, 18 p.

5. Resende, P.R. Numerical investigation of micro-scale diffusion combustion: a brief review [Text] / P.R. Resende, M. Ayoobi, A.M. Afonso. – Applied sciences, 9(16), 2019, 21 p.

Investigation of the combustion features methane-air diffusion jets

Klyuev A.Y., Guryanov A.I.
RSATU, Rybinsk, Russia

The design of complex technical systems, in particular combustion chambers of gas turbine engines, is accompanied by a number of requirements and restrictions imposed on their designs, thermal and gas dynamic characteristics. Due to the continuous tightening of requirements, there is a need to develop new concepts of combustion chambers and ways of provision of combustion in them. One of the promising directions for the development of energy devices for fuel combustion is the separation of the reaction zone and the flame front into many small-scale zones and local flame fronts in them. This method of provision of combustion is called microflame combustion technology. The development of engineering methods for the design of burner modules of combustion chambers operating using microfibre combustion technology requires taking into account the influence of a large-scale factor on combustion process.

Numerical simulation of reacting diffusion laminar jets in a three-dimensional formulation is performed. The study of the influence of the scale factor was carried out on five scales: 10^-2; 5 · 10^-3; 10^-3; 5 · 10^-4 and 10^-4 m. The diameter of the fuel nozzle is taken as the characteristic size that determines the scale of the jet.

The analysis of temperature profiles in axial and radial directions was carried out in the study, which showed that at values of the diffusion number of the Pecle up to 10^1 and the Reynolds number up to 10^2, the influence of molecular diffusion on the flow of components increases and for the scales of jets 10^-3; 5, 10^-4 and 10^-4 m the shape of the flame it becomes spherical, which is caused by the negligible effect on the flow of natural convection. Therefore, mass transfer is uniformly carried out in the axial and radial directions. The influence of natural convection on the structure of the jets of the other two scales 10^ -2 and 5 × 10^-3 m must be taken into account, so the diffusion in the axial is negligible. The assessment of the effect of natural convective forces on the flow was carried out using Rayleigh and Archimedes numbers. At Ra < 10^3 and Ar < 10^3, the effect of natural convection can be neglected.

The work was carried out within the framework of the state assignment for the implementation of fundamental scientific research (code of the scientific topic 0774-2020-0004; AAAAAA-A20-120120790010-3).

1. Chou, S.K. Development of micro power generators – A review [Text] / S.K. Chou, W.M. Yang, K.J. Chua, J. Li, K.L. Zhang. – National University of Singapore 2010;16

2. Fernandez-Pello, A.C. Micropower generation using combustion: issues and approaches [Text] / A.C. Fernandez-Pello – Proceedings of the Combustion Institute 2002;29:883-99.

3. Wan, J. Recent progress in flame stabilization technologies for combustion based micro energy and power system [Text] / J. Wan, A. Fan. – Fuel, 2021, 286, 17 p.

4. Nakamura, Y. Progress in small-scale combustion [Text] / Y. Nakamura, J. Gao, T. Matsuoka. – Journal of thermal science and technology, 12(1), 2017, 18 p.

5. Resende, P.R. Numerical investigation of micro-scale diffusion combustion: a brief review [Text] / P.R. Resende, M. Ayoobi, A.M. Afonso. – Applied sciences, 9(16), 2019, 21 p.

Оптимизация режимов обработки лазерным ударным упрочнением алюминиевого сплава Д16 с помощью численного моделирования

Кожевников Г.Д., Королев Д.Д., Токачев Д.А., Ляховецкий М.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Авиадвигателестроение является одной из стратегически важных отраслей, обеспечивающих высокий уровень технологического развития Российской Федерации. С начала создания первых двигателей к ним предъявлялись повышенные требования по качеству, надежности и долговечности их деталей.

Одним из факторов, значительно влияющих на ресурс и надежность двигателя является усталостное разрушение элементов ГТД. Наиболее подвержены такому разрушению вентиляторные лопатки, лопатки компрессора низкого давления (КНД) крыльчатки, рабочие лопатки компрессора высокого давления (КВД), диски, валы.

На сегодняшний день одной из критических технологий, пришедшей на смену традиционной дробеструйной обработки, необходимой для повышения усталостной прочности деталей ГТД является лазерное ударное упрочнение [1].

Лазерное ударное упрочнение (ЛУУ) поверхности обеспечивается ударными волнами большой амплитуды, которые генерируются короткими лазерными импульсами высокой энергии. Эффект упрочнения достигается за счет механической деформации, производимой ударной волной, а не термическим нагревом поверхности, как в случае лазерной закалки.

Однако процесс ЛУУ, с точки зрения подбора режимов, выстраивания стратегии обработки, является сложной задачей. Одним из самых распространенных методов оптимизации режимов и стратегии обработки является численное моделирование технологических процессов. С помощью получаемых моделей можно оптимизировать конечное напряженно-деформированное состояние (НДС) детали наиболее выгодным образом с точки зрения усталостной прочности.

Прямое моделирование процесса ЛУУ алюминиевого сплава «Д16» заключалось в предварительном аналитическом расчете расширения плазмы в ограниченном канале, для определения магнитуды давления и распределения давления по пятну [2]. В качестве модели поведения материала использовалась модель Johnson-Cook [3], так как она подходит для подобных быстропротекающих процессов. Далее используя граничные условия, полученные из аналитических расчетов, проводится конечно-элементный анализ (КЭА) в связке ПК Ansys – LS-Dyna, состоящий из двух этапов: динамического и статического, в конечном итоге мы получаем НДС детали.

В результате КЭА было оценено влияние изменения энергии и длительности импульса на величину и глубину залегания остаточных напряжений и деформаций, и определены оптимальные режимы обработки.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер темы FSFF-2020-0014.

Литература:

1. М.А. Ляховецкий, М.В. Волков, И. С. Сарбучев, Г.Г. Ширваньянц. Сравнительное исследование остаточных напряжений на титановом сплаве ВТ6, обработанном методами лазерного ударного упрочнения и дробеструйной обработки. Международная научно-техническая конференция по авиационным двигателям ICAM 2020: сборник тезисов / Государственный научный центр РФ «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова». – М. : ЦИАМ им. П.И. Баранова, 2020. С. 570-572.

2. Fabbro R. et al. Physical study of laser-produced plasma in confined geometry //Journal of applied physics. – 1990. – Т. 68. – №. 2. – С. 775-784.

3. Kay G. Failure modeling of titanium-6Al-4V and 2024-T3 aluminum with the Johnson-Cook material model. – Lawrence Livermore National Lab., CA (US), 2002. – №. UCRL-ID-149880.

Optimization of laser shock peening of aluminum alloy D16 by numerical simulation

Kozhevnikov G.D., Korolev D.D., Tokachev D.A., Lyakhovetsky M.A.

MAI, Moscow, Russia

Aircraft engine building is one of the strategically important industries that ensure a high level of technological development in the Russian Federation. From the beginning of the creation of the first engines, they were subject to increased requirements for the quality, reliability and durability of their parts. Today, in connection with the introduction of new highly efficient technological processes, the requirements for the resource and reliability of modern gas turbine engines, both in the Russian Federation and abroad, are constantly growing.

One of the factors that significantly affect the service life and reliability of the engine is the fatigue failure of GTE elements. The causes of fatigue failure can be both aerodynamic forces, technological imperfections of parts, and operating costs, such as the use of engines in difficult climatic conditions with high dust or humidity, and the ingress of foreign objects into the engine tract. Fan blades, low-pressure compressor blades (LPC), impellers, high-pressure compressor blades (HPC), discs, and shafts are most susceptible to such destruction.

To date, one of the critical technologies that has replaced traditional shot peening, which is necessary to increase the fatigue strength of gas turbine parts, is laser shock peening [1].

Laser shock peening (LSP) of the surface is provided by high amplitude shock waves, which are generated by short high-energy laser pulses. The hardening effect is achieved by mechanical deformation produced by the shock wave, and not by thermal heating of the surface, as in the case of laser hardening.

However, the LSP process, from the point of view of selecting modes, building a processing strategy, is a difficult task. One of the most common methods for optimizing modes and processing strategies is the numerical simulation of technological processes. With the help of the resulting models, it is possible to optimize the final stress-strain state (SSS) of the part in the most advantageous way in terms of fatigue strength.

Direct modeling of the LSP process for the D16 aluminum alloy consisted in a preliminary analytical calculation of plasma expansion in a limited channel to determine the pressure magnitude and pressure distribution over the spot [2]. The Johnson-Cook model [3] was used as a material behavior model, as it is suitable for such fast processes. Further, using the boundary conditions obtained from analytical calculations, a finite element analysis (FEA) is carried out in conjunction with the Ansys – LS-Dyna PC, consisting of two stages: dynamic and static, in the end we get the SSS of the part.

As a result of CEA, the effect of changing the energy and pulse duration on the magnitude and depth of residual stresses and strains was evaluated, and the optimal processing modes were determined.

The work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Education and Science of Russia, topic number FSFF-2020-0014.

References:

1. Fabbro R. et al. Physical study of laser-produced plasma in confined geometry //Journal of applied physics. - 1990. - T. 68. - No. 2. - S. 775-784.

2. Kay G. Failure modeling of titanium-6Al-4V and 2024-T3 aluminum with the Johnson-Cook material model. – Lawrence Livermore National Lab., CA (US), 2002. – no. UCRL-ID-149880.

Визуализация формирования пелены охладителя за отверстиями различной формы методом цифровой трассерной визуализации

[1]Колесова А.А., [1]Веретенников С.В., [2]Жорник М.Н.

[1]РГАТУ имени П.А. Соловьева, [2]ПАО «ОДК-Сатурн», г. Рыбинск, Россия

В современной научной практике выполнено большое количество экспериментальных и численных исследований, направленных на повышение эффективности пленочного охлаждения. В технической литературе, в основном представлены, экспериментальные данные представлены в виде зависимостей адиабатной эффективности охлаждения [1] или коэффициента теплоотдачи, которые используются при определении теплового состояния объекта исследования. Однако для правильного понимания процессов формирования струи охладителя, ее взаимодействия с основным потоком и настройки численных моделей необходимо выполнять экспериментальные исследования по визуализации структуры течения и взаимодействию основного и вторичного потока.

Методы цифровой трассерной визуализации относятся к бесконтактным оптическим способам проведения экспериментальных исследований по определения структуры течения и поля скорости в потоке. Наиболее популярным среди которых является PIV метод (позволяет получить две компоненты скорости). Принцип работы, которого заключается в том, что в поток вводятся частицы малого размеры (трассеры), лазерным лучем – создается плоскость, область в которой будут проводится измерения. Далее образы частиц фиксируются на высокоскоростную камеру и полученные изображения обрабатываются кросскорреляционными методами [2].

В данной работе выполнено экспериментальное исследование формирования газовой завесы на плоской поверхности за одиночным отверстием различной геометрической формы методом цифровой трассерной визуализации при параметрах вдува от 0,5 до 2. В работе

представлено исследование пяти форм отверстий: цилиндрической, веерной с коротким (1 калибр) и длинным (3 калибра) диффузорным участком, отверстие типа laidback с длинной расширяющегося участка 1 калибр и комбинированное отверстие (веерное – 2 калибра и laidback – 1 калибр).

По результатам экспериментального исследования получено, что пелена, формируемая отверстием цилиндрической формы при параметре вдува m>1 отрывается от защищаемой поверхности. За профилированными отверстиями при увеличении параметра вдува от 0,5 до 2 отрыва охлаждающей пелены не наблюдается. Так же за цилиндрическим отверстием и отверстиями с коротким диффузорным участком формируется зона обратных токов, которая приводит к подмешиванию основного потока к стенке и снижению эффективности охлаждения.

Литература:

1. Saumweber, C. Effect of geometry variations on the cooling performance of fan shaped cooling holies/ C. Saumweber, A. Schulz// Proceedings of ASME Turbo Expo- 2008- Power for Land, Sea and Air. GT2008-51038.

2. Scarano F., Riethmuller M.L. (1999) Iterative multigrid approach in PIV image processing with discrete offset. Exp. Fluids, Vol. 26, pp. 513-523.

Visualization of the formation of the cooler shroud behind the holes of various shapes by digital tracer visualization

[1]Kolesova A.A., [1]Veretennikov S.V., [2]Zhornik M.N.

[1]RSATU, [2]PJSC "UEC-Saturn", Rybinsk, Russia

In modern scientific practice, a large number of experimental and numerical studies aimed at improving the efficiency of film cooling have been carried out. In the technical literature, experimental data are mainly presented in the form of dependences of the adiabatic cooling efficiency [1] or the heat transfer coefficient, which are used to determine the thermal state of the object of study. However, in order to properly understand cooler jet formation processes, its interaction with the main flow and the adjustment of numerical models, it is necessary to carry out experimental studies on visualization of the flow structure and main and secondary flow interaction.

Digital tracer imaging methods are non-contact optical methods for conducting experimental studies to determine the structure of the flow and the velocity field in the flow. The PIV method are most popular among them (allows you to get two components of the speed). The principle of operation, which is that small particles (tracers) are introduced into the stream by a laser beam - a plane is created, the area in which the measurements will be carried out. Further, the particle images are captured on a high-speed camera and the resulting images are processed by cross-correlation methods [2].

In this paper, an experimental study is carried out a gas curtain formation on a flat surface behind a single hole of various geometric shapes by digital tracer imaging with injection parameters from 0.5 to 2. The paper presents a study of five hole shapes: cylindrical, fan shaped with a short (1 caliber) and a long (3 caliber) diffuser section, a laidback-type hole with a long expanding section of 1 caliber and a combined hole (fanshape – 2 caliber and laidback – 1 caliber).

According to the results of an experimental study, it was found that the veil formed by a cylindrical hole at the injection parameter m >1 breaks away from the protected surface. There is no the cooling shroud separation behind the profiled holes with an increase in the injection parameter from 0.5 to 2. Also, a zone of reverse currents is formed behind the cylindrical hole and holes with a short diffuser section, which leads to mixing of the main flow to the wall and a decrease in cooling efficiency.

References:

1. Saumweber, C. Effect of geometry variations on the cooling performance of fan shaped cooling holies/ C. Saumweber, A. Schulz// Proceedings of ASME Turbo Expo- 2008- Power for Land, Sea and Air. GT2008-51038.

2. Scarano F., Riethmuller M.L. (1999) Iterative multigrid approach in PIV image processing with discrete offset. Exp. Fluids, Vol. 26, pp. 513-523.

Концепция электрификации авиационного двигателя

Кондряков А.Д.
МАИ, г. Москва, Россия

Электрификация двигателя является одним из основных направлений совершенствования авиационной техники. Наличие множества гидравлических и пневматических систем приводит к снижению надежности, увеличению габаритов и массы, усложнению и удорожанию обслуживания. Улучшение этих показателей возможно при замене традиционных систем на электрические.

В конструкции электрического газотурбинного двигателя (ГТД) могут отсутствовать коробки двигательных агрегатов (КДА), самолетных агрегатов (КСА), центральный конический привод (ЦКП), необходимый для запуска двигателя, а также отбора мощности с вала ротора на привод агрегатов, могут отсутствовать отборы воздуха из компрессора на двигательные и самолетные нужды. Возможна замена агрегатов на полностью электрические.

Переход к конструкции данной концепции необходимо выполнять поэтапно за счет постепенной замены различных агрегатов электрическими аналогами. Одним из первых и главных этапов является замена традиционного стартера, расположенного на КСА и необходимого для обеспечения запуска двигателя, электрическим аналогом с возможностью выработки электроэнергии на высоких оборотах и размещение его на валу ротора внутри двигателя. Вырабатываемую им электроэнергию возможно использовать для обеспечения замены традиционных приводных агрегатов электрическими аналогами, что позволит снизить массу и габариты изделия, повысить надежность системы.

Для достижения вышеперечисленных преимуществ необходимо выполнить разработку стартер-генератора (СТГ), который будет вырабатывать достаточную мощность, необходимую для замены определенных агрегатов или полного отказа от КДА, КСА и ЦКП. При этом масса самого СТГ, элементов его монтажа, электроприводных агрегатов и их коммуникаций должна быть меньше массы заменяемых приводных агрегатов и их арматуры, а геометрические размеры СТГ должны вписываться в конструкцию существующего или перспективного двигателя. Также необходимо выбрать оптимальное расположение СТГ внутри двигателя для исключения перегрева и обеспечения высокой эффективности.

На примере ТРДДф возможно выполнить размещение СТГ в трех местах компрессора: на роторах низкого и высокого давлений в районе дисков первой ступени, в масляной полости промежуточного корпуса. Размещение СТГ в районе камеры сгорания или турбины не предоставляется возможным из-за высоких температур. Самым оптимальным местом расположения СТГ является внутренняя масляная полость промежуточного корпуса компрессора, где обеспечиваются все необходимые условия.

The concept of electrification of an aircraft engine

Kondryakov A.D.
MAI, Moscow, Russia

The electrification of an engine is one of the main directions of improvement of aviation technology. The availability of varieties of hydraulic and pneumatic systems leads to a decrease in reliability, an increase in size and weight, complication and increase in the cost of maintenance. Improvement of these characteristics is possible when replacing traditional systems with electric ones.

In the design of an electric gas turbine engine (GTE), there may be no boxes of engine units (BEU), aircraft units (BAU), a central conical drive (CCP) necessary to start the engine, as well as power take-off from the rotor shaft to drive the units, there may be no air intake from the compressor for engine and aircraft needs. It is possible to replace the units with fully electric ones.

The transition to the design of this concept must be carried out in stages due to the gradual replacement of various units with electrical analogues. One of the first and main stages is the replacement of the traditional starter, located on the BAU and necessary to ensure the start of the engine, with an electric analogue with the possibility of generating electricity at high speeds and placing it on the rotor shaft inside the engine. The electricity generated by it can be used to ensure

the replacement of traditional drive units with electrical analogues, which will reduce the weight and dimensions of the product, increase the reliability of the system.

To achieve the above advantages, it is necessary to develop a starter generator (STG) that will generate sufficient power necessary to replace certain units or completely abandon the BEU, BAU and CCP. At the same time, the mass of the STG, its mounting elements, electric drive units and their communications should be less than the mass of the replaced drive units and their fittings, and the geometric dimensions of the STG should fit into the design of an existing or prospective engine. It is also necessary to choose the optimal location of the STG inside the engine to avoid overheating and ensure high efficiency.

Using the example of a turbofan engine, it is possible to place the STG in three places of the compressor: on low- and high-pressure rotors in the area of the disks of the first stage, in the oil cavity of the intermediate housing. STG placement in the area of the combustion chamber or turbine is not possible due to high temperatures. The most optimal location of the STG is the internal oil cavity of the intermediate compressor housing, where all the necessary conditions are provided.

Влияние режимов лазерной ударной обработки алюминиевого сплава Д16 на степень наклепа и величину остаточных напряжений поверхностного слоя

Королев Д.Д., Кожевников Г.Д., Токачев Д.А., Ляховецкий М.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Лазерная ударная обработка – метод поверхностного пластического деформирования (ППД) материала, сущность которого заключается в получении остаточных сжимающих напряжений путем образования ударной волны, инициированной воздействием лазерного луча большой плотности мощности (~5-10 ГВт/см2) на поверхность и последующим расширением плазмы в искусственно ограниченном пространстве.

Целью данной работы является получение зависимостей по величине микротвердости и остаточных напряжений от глубины поверхностного слоя. Для выполнения работы использовался лазер на основе Nd:стекло с ламповой накачкой. Длительность лазерного излучения находилась в диапазоне 55-60 нс, а длина волны составляла 1064 нм. В качестве абляционного покрытия применялась черная ПВХ лента (наносится на образец для генерации плазмы и защиты поверхности металла от термических дефектов). Подбор режимов обработки, таких как энергия, диаметр пятна, плотность мощности лазерного излучения выбирался исходя из динамического предела упругости Гюгонио, так чтобы давление, создаваемое плазмой на образце было выше данного предела упругости материала.

В ходе выполнения работы измерения шероховатости, макрогеометрии, а также микротвердости проводилось с использованием 3D интерференционного микроскопа-профилометра Olympus LEXT OLS-5000, а также микротвердомера ПМТ-3. Измерение остаточных напряжений на образцах производилось рентгеновским методом и методом ак. Давиденкова.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер темы FSFF-2020-0014.

1. Van Aswegen D. C., Polese C. Experimental and analytical investigation of the effects of laser shock peening processing strategy on fatigue crack growth in thin 2024 aluminium alloy panels //International Journal of Fatigue. – 2021. – Т. 142. – С. 105969.

2. Gao Y. et al. Effects of residual stress and surface roughness on the fatigue life of nickel aluminium bronze alloy under laser shock peening //Engineering Fracture Mechanics. – 2021. – Т. 244. – С. 107524.

3. Grigoryants A. G. et al. Features of laser impact treatment application with low-energy sources to reduce residual tensile stresses in the welds of aluminium alloys //Welding International. – 2021. – Т. 35. – №. 10-12. – С. 389-396.

4. Azevedo L. et al. Fatigue behaviour of laser shock peened AISI D2 tool steel //International Journal of Fatigue. – 2022. – Т. 165. – С. 107226.

5. Glaser D. et al. Evaluation of laser shock peening process parameters incorporating Almen strip deflections //Surface and Coatings Technology. – 2022. – Т. 434. – С. 128158.

6. М.А. Ляховецкий, М.В. Волков, И. С. Сарбучев, Г.Г. Ширваньянц. Сравнительное исследование остаточных напряжений на титановом сплаве ВТ6, обработанном методами лазерного ударного упрочнения и дробеструйной обработки. Международная научно-техническая конференция по авиационным двигателям ICAM 2020: сборник тезисов / Государственный научный центр РФ «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова». – М. : ЦИАМ им. П.И. Баранова, 2020. С. 570-572.

7. Королев Д.Д., Ляховецкий М.А., Кожевников Г.Д. Разработка технологии лазерного ударного упрочнения для повышения усталостной прочности деталей авиационной техники // Сборник аннотаций конкурсных работ XIII Всероссийский межотраслевой молодежный конкурс научно-технических работ и проектов в области авиационной и ракетно-космической техники и технологий. Москва, 2021. С. 202-203.

The influence of laser shock peening modes of aluminum alloy D16 on the degree of hardening and the amount of residual stresses of the surface layer

Korolev D.D., Kozhevnikov G.D., Tokachev D.A, Lyakhovetsky M.A.
MAI, Moscow, Russia

Laser shock peening is a method of surface plastic deformation (SPD) of a material, the essence of which is to obtain residual compressive stresses by forming a shock wave initiated by the action of a laser beam of high power density (~5-10 GW /cm2) on the surface and subsequent expansion of the plasma in an artificially confined space.

The purpose of this work is to obtain dependences on the magnitude of microhardness and residual stresses on the depth of the surface layer. A laser based on Nd:glass, lamp-pumped was used to perform the work. The duration of the laser radiation was in the range of 55-60 ns, and the wavelength was 1064 nm. Black PVC tape was used as an ablative coating (applied to the sample to generate plasma and protect the metal surface from thermal defects). The selection of processing modes, such as energy, spot diameter, and laser power density was chosen based on the dynamic limit of elasticity of Hugonio, so that the pressure created by the plasma on the sample was higher than the given limit of elasticity of the material.

In the course of the work, measurements of roughness, macrogeometry, and microhardness were carried out using a 3D interference microscope-the Olympus LEXT OLS-5000 profilometer, as well as the PMT-3 microhardness meter. Residual stresses on the samples were measured using X-ray and AK methods. Davidenkova.

The work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Education and Science of Russia, the topic number FSFF-2020-0014.

Математическое моделирование электродинамики струи ЭРД

Котельников М.В., Крылов С.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Математическая модель электродинамики струи, истекающей из ЭРД, включает уравнения Власова для ионов и электронов и уравнение Пуассона для самосогласованного электрического поля с добавлением стандартной системы начальных и граничных условий. Численная модель – модель последовательных итераций по времени после импульсного изменения одного из параметров задачи. Цель исследования – отметить некоторые особенности потока плазмы, истекающего из ЭРД, полученные в результате математического моделирования и натурных экспериментов, проведенных зондовым методом, а именно:

• В некоторых типах ЭРД, например, двигателе с замкнутым дрейфом электронов, струя плазмы, истекающая из сопла, является затопленной, т.е. попадает в область, заполненную плазмой с концентрацией заряженных частиц, близкой к концентрации их в самой струе [1].

• В магнитоплазмодинамических двигателях (МПДД), если на срезе сопла поставить условие квазинейтральности, струя движется в облаке с избытком электронов (назовем его электронным облаком), которые попадают в облако за счет относительно высокой тепловой скорости. Поэтому струя, обедненная электронами вблизи сопла, имеет избыток ионов и соответственно положительный потенциал. В результате вдоль струи протекает

электрический ток. При этом имеет место положительный потенциал, который уменьшает направленную скорость поступающих из сопла ионов. На расстоянии ~80 r_D квазинейтральность струи восстанавливается и скорость ионов выходит на начальное значение [2].

• Если параметр ε=T_i/T_e уменьшается, то в профиле потенциала после максимума может проявиться минимум [2].

• В струе плазмы может возникать волновой процесс, что хорошо видно на зависимости направленной скорости электронов от координаты вдоль оси симметрии струи [2].

• Обширную информацию о струе позволяют получить функции распределения ионов (ФРИ) и электронов (ФРЭ). Объем под куполом ФР пропорционален концентрации заряженных частиц. Поэтому вид ФРИ и ФРЭ позволяет судить о распределении концентрации по радиусу струи.

Литература:

1. Kotel'nikov M.V., Kim V.P., Kotelnikov V.A. Probe measurements in the flooded stream. Technical Physics, 2010, Vol. 36, No. 8, pp. 770–772.

2. Котельников В.А., Котельников М.В., Крылов С.С. Математическое моделирование электродинамики потоков плазмы, истекающей из сопла ЭРД и ЖРД. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2022, 192 с.

Mathematical modeling of the electrodynamics of the ERD jet

Kotelnikov M.V., Krylov S.S.

MAI, Moscow, Russia

The mathematical model of the electrodynamics of a jet flowing from the ERD includes the Vlasov equations for ions and electrons and the Poisson equation for a self-consistent electric field with the addition of a standard system of initial and boundary conditions. The numerical model is a model of successive iterations over time after a pulse change in one of the parameters of the problem. The purpose of the study is to note some features of the plasma flow flowing from the ERD, obtained as a result of mathematical modeling and field experiments conducted by the probe method, namely:

• In some types of ERD, for example, an engine with a closed electron drift, the plasma jet flowing out of the nozzle is flooded, i.e. it falls into an area filled with plasma with a concentration of charged particles close to their concentration in the jet itself [1].

• In magnetoplasmodynamic engines (MPDD), if a quasi-neutral condition is set on the nozzle section, the jet moves in a cloud with an excess of electrons (let's call it an electron cloud), which fall into the cloud due to a relatively high thermal velocity. Therefore, a jet depleted of electrons near the nozzle has an excess of ions and, accordingly, a positive potential. As a result, an electric current flows along the jet. At the same time, there is a positive potential, which reduces the directional velocity of the ions coming from the nozzle. At a distance of ~80 r_D, the quasi-neutrality of the jet is restored and the ion velocity reaches the initial value [2].

• If the parameter ε=T_i/T_e decreases, then a minimum may appear in the potential profile after the maximum [2].

• A wave process can occur in a plasma jet, which is clearly seen in the dependence of the directed electron velocity on the coordinate along the axis of symmetry of the jet [2].

• Extensive information about the jet can be obtained by the distribution functions of ions (FRI) and electrons (FE). The volume under the FR dome is proportional to the concentration of charged particles. Therefore, the type of FREE and FREE allows us to judge the distribution of concentration along the radius of the jet.

References:

1. Kotel'nikov M.V., Kim V.P., Kotelnikov V.A. Probe measurements in the flooded stream. Technical Physics, 2010, Vol. 36, No. 8, pp. 770–772.

2. Kotelnikov V.A., Kotelnikov M.V., Krylov S.S. Mathematical modeling of electrodynamics of plasma flows flowing from the nozzle of the ERD and LRE. – Izhevsk: Institute of Computer Research, 2022, 192 p.

Диагностика ЖРД по электродинамическим характеристикам продуктов сгорания

Котельников М.В., Крылов С.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Согласно теоретическим и экспериментальным исследованиям (см. обзор в [1]) в камере сгорания ЖРД температура продуктов сгорания может достигать (3-6)·10^3 К в зависимости от типа топлива и условий горения. При таких температурах имеет место термическая и хемоионизация. Степень ионизации, равная отношению концентрации ионов к концентрации нейтральных атомов.

Если добавить к горючей смеси ~1% щелочного металла, то значение степени ионизации можно повысить до десяти в минус пятой степени и более. В такой плотной слабоионизованной плазме могут протекать электрические токи, возникать собственные электрические и магнитные поля, которые могут служить дополнительным средством диагностики и управления физическими процессами в ЖРД, что неоднократно использовалось на практике [1]. Перспективность такой диагностики заключается в том, что время срабатывания системы аварийной защиты сокращается по сравнению с классическими методами в несколько раз [1]. В данной работе вместо датчиков магнитного поля (ДМП) и электрического поля (ДЭП) предлагается использовать плоские пристеночные зонды, которые измеряют концентрации заряженных частиц. Заряженные частицы плазмы являются причиной возникновения электрических токов, которые в свою очередь приводят к появлению электрических и магнитных полей.

Авторы имеют многолетний опыт использования плоских пристеночных зондов для диагностики плазмы вблизи образцов авиационно-космической техники [2]. Отметим некоторые преимущества зондового метода [3].

• Зондовые датчики дают локальные значения параметров плазмы, а датчики ДМП и ДЭП – интегральные. Поэтому зондовые датчики, расположенные в количестве нескольких штук вдоль тракта сопла, определяют не только факт внештатной ситуации, но и ее местоположение.

• Зондовые датчики технологически удобно использовать в летных условиях, чего нельзя сказать о ДМП и ДЭП.

• Зондовые датчики позволяют измерить концентрации заряженных частиц в плазменном образовании, чего не способны измерить ДМП и ДЭП. Зондовые датчики работают в условиях, когда электрические токи вдоль струи малы или вообще отсутствуют. В этих условиях ДМП не работают.

Литература:

1. Ягодников Д.А., Рудинский А.В. Диагностика ракетных и реактивных двигателей по характеристикам собственного электромагнитного поля продуктов сгорания. ТВТ, 2017, т. 55, №4, с. 828-845.

2. Котельников М.В., Котельников В.А., Кассин Д.В. Зондовые измерения на борту гиперзвукового летательного аппарата. ТВТ, 2020, т. 58, №2, с. 1-4.

3. Котельников В.А., Котельников М.В., Крылов С.С. Математическое моделирование электродинамики потоков плазмы, истекающей из сопла ЭРД и ЖРД. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2022, 192 с.

Diagnostics of LRE by electrodynamic characteristics of combustion products

Kotelnikov M.V., Krylov S.S.
MAI, Moscow, Russia

According to theoretical and experimental studies (see review in [1]), the temperature of the combustion products in the combustion chamber of the LRE can reach (3-6)* 10^3 K depending on the type of fuel and gorenje conditions. At such temperatures, thermal and chemoionization takes place. The degree of ionization equal to the ratio of the concentration of ions to the concentration of neutral atoms.

If ~ 1% of alkali metal is added to the combustible mixture, then the value of the degree of ionization can be increased to ten to minus the fifth degree or more. In such a dense weakly ionized

plasma, electric currents can flow, their own electric and magnetic fields can arise, which can serve as an additional means of diagnosing and controlling physical processes in the LRE, which has been repeatedly used in practice [1]. The promise of such diagnostics lies in the fact that the response time of the emergency protection system is reduced several times compared to classical methods [1]. In this paper, instead of magnetic field sensors (DMF) and electric field sensors (DEP), it is proposed to use flat wall probes that measure the concentrations of charged particles. Charged plasma particles are the cause of electric currents, which in turn lead to the appearance of electric and magnetic fields.

The authors have many years of experience in using flat wall probes for plasma diagnostics near samples of aerospace technology [2]. Note some advantages of the probe method [3].

• Probe sensors give local values of plasma parameters, and DMP and DEP sensors are integral. Therefore, probe sensors located in the number of several pieces along the nozzle path determine not only the fact of an emergency situation, but also its location.

• Probe sensors are technologically convenient to use in flight conditions, which cannot be said about DMP and DEP.

• Probe sensors allow you to measure the concentrations of charged particles in plasma formation, which DMP and DEP are not able to measure. Probe sensors work in conditions when electric currents along the jet are small or absent at all. In these conditions, DMPS do not work.

References:

1. Yagodnikov D.A., Rudinsky A.V. Diagnostics of rocket and jet engines based on the characteristics of their own electromagnetic field of combustion products. TVT, 2017, vol. 55, No. 4, pp. 828-845.

2. Kotelnikov M.V., Kotelnikov V.A., Kassin D.V. Probe measurements on board a hypersonic aircraft. TVT, 2020, vol. 58, No. 2, pp. 1-4.

3. Kotelnikov V.A., Kotelnikov M.V., Krylov S.S. Mathematical modeling of electrodynamics of plasma flows flowing from the nozzle of the ERD and LRE. – Izhevsk: Institute of Computer Research, 2022, 192 p.

Определение облика импульсных двигателей специального назначения

Красильников Д.В., Кузьмин Н.Е., Борисов В.Н.

АО «Корпорация «МИТ», г. Москва, Россия

Настоящая работа посвящена актуальным вопросам, связанным с проработкой облика импульсных двигателей специального назначения (ДСН), выполняющим разнообразные функции, такие как разделение, торможение, закрутки объектов.

В ходе исследования определены ключевые конструктивные и эксплуатационные особенности существующих схем импульсного ДСН.

Исходя из имеющегося опыта по созданию, отработке и серийному изготовлению импульсных ДСН проанализировано влияние величины суммарного импульса тяги на массовые характеристики импульсного ДСН, что позволило выявить область импульсных ДСН, которая нуждается в существенном уточнении подхода при определении облика, а также сформировать ряд рекомендаций для разработки обликов новых или модернизации серийных импульсных ДСН.

Помимо этого, в статье рассмотрен вопрос оптимизации схемного решения конструкции малоимпульсных ДСН с помощью применения

электрических воспламенителей, пиропатронов, назначением которых является генерация высокотемпературных газов высокого давления, так как в области малых значений суммарного импульса на массу изделия большое влияние оказывает технология изготовления конструктивных элементов двигателя. А также указана возможность совершенствования двигателей этой группы путем существенного снижения материальных, экономических и временных затрат на разработку и изготовление путем унификации конструкции двигателя. Стоит заметить, что при необходимости возможно создание импульсных ДСН с расширенным диапазоном величины суммарного импульса тяги, применяя новые пиротехнические или пороховые составы.

Литература:

Determination of the appearance of special purpose pulse engines

Krasilnikov D.V., Kuzmin N.E., Borisov V.N.
JSC "Corporation "MIT", Moscow, Russia

This work is devoted to topical issues related to the study of the appearance of special-purpose pulse engines, performing various functions, such as separation, braking.

In the course of the study, the key design and operational features of the existing special purpose pulse engine circuits were identified. Based on the existing experience in the creation, development and serial production of special-purpose pulse engines, the influence of the total thrust pulse on the mass characteristics of a special-purpose pulse engine was analyzed, which made it possible to identify the area of special-purpose pulse engines that needs a significant refinement of the approach when determining the appearance, as well as to form a number of recommendations for the development of new or modernization of serial special purpose pulse engines.

In addition, the article considers the issue of optimizing the circuit design of low-pulse special-purpose engines by using electric igniters, pyrotechnic devices, the purpose of which is the generation of high-temperature high-pressure gases, since in the area of small values of the total pulse, the mass of the product is greatly influenced by the manufacturing technology of engine structural elements.

And also the possibility of improving the engines of this group by significantly reducing the material, economic and time costs of development and manufacture by unifying the design of the engine is indicated. It is worth noting that, if necessary, it is possible to create special-purpose pulse engines with an extended range of the total thrust pulse, using new pyrotechnic and powder compositions.

References:

Mukhamedov V.S. Special purpose solid fuel engines, St. Petersburg, 2018

Исследование влияния теплового расширения материалов на величину контактного термического сопротивления

Крылова Ю.А., Ежов А.Д., Платонов И.М.
МАИ, г. Москва, Россия

Развитие авиационной и ракетной техники сопровождается постоянным увеличением теплонапряженности элементов конструкции, что зачастую приводит к росту рабочей температуры и давления. Для корректного теплового расчета необходимо иметь представление о величине контактного термического сопротивления (КТС) между двумя соприкасающимися поверхностями, так как в настоящее время принято рассматривать данный тепловой контакт условно идеальным. В реальности при прохождении теплового потока через соединение двух деталей происходит температурный перепад, величина которого может достигать сотни градусов, что приводит к снижению способности передачи тепла, а также к значительному термическому расширению элементов конструкции. Впоследствии, этот процесс может привести к нештатному функционированию изделия, потери работоспособности, а также разрушению. В связи с тем, что в подавляющем большинстве отечественных и зарубежных работ также игнорируется изменение давления при температурном расширении материалов, возникают неточности при определении величины КТС.

В настоящей работе представлена исследование влияния теплового расширения материалов на величину контактного термического сопротивления с помощью моделирования поверхности двух образцов, а также проведен расчет величины КТС при моделировании термомеханического поведения микронеровностей под действием тепловой и механической нагрузки на базе цифрового двойника поверхности и сопоставление полученных значений с результатами, полученными из экспериментального исследования.

Для достоверного моделирования процесса переноса теплового потока через границу двух тел необходимо корректное определение значения шероховатости. В данном случае определение шероховатости поверхности двух образцов производилось бесконтактным

методом с помощью лазерного микроскопа. Получены сведения о значении шероховатости поверхностей, а также облако точек поверхностей, на базе которого воссоздан цифровой двойник поверхности, на основе которого проведен расчет контактного термического сопротивления при различных значениях теплового потока и давления.

При тех же значениях давления и температуры проведен эксперимент, в ходе которого определены величины сближения двух поверхностей друг к другу, что позволило произвести вычисления с учетом изменения давления за счет температурного расширения образцов. Результаты, полученные экспериментальным путем, показали удовлетворительную корреляцию с результатами, полученными при численном моделировании.

Research on the effect of thermal expansion of materials on the contact thermal resistance value

Krylova Y.A., Ezhov A.D., Platonov I.M.
MAI, Moscow, Russia

The development of aviation and aerospace technology is accompanied by a constant increase in the thermal stress of structural elements, which often leads to an increase in operating temperature and pressure. For correct thermal calculation it is necessary to have an idea about the value of thermal contact resistance (TCR) between two contacting surfaces, as at present it is accepted to consider this thermal contact as conditionally ideal. In reality, when heat flow passes through the connection of two parts, there is a temperature difference, the value of which can reach hundreds of degrees, which leads to a decrease in the ability of heat transfer, as well as to significant thermal expansion of the elements of the structure. Subsequently, this process can lead to abnormal functioning of the product, loss of performance, as well as destruction. Due to the fact that the vast majority of domestic and foreign works also ignore the change in pressure during thermal expansion of materials, there are inaccuracies in determining the value of TCR.

This paper presents a study of the effect of thermal expansion of materials on the value of thermal contact resistance by simulating the surface of two samples, as well as the calculation of the CTS value when simulating the thermomechanical behavior of microroughness under the action of thermal and mechanical loading using a digital surface twin and comparing the obtained values with the results obtained from the experimental study.

For reliable modeling of the process of heat flux transfer through the two-body boundary, it is necessary to correctly determine the roughness value. In this case, the determination of the surface roughness of two samples was made by non-contact method with the help of a laser microscope. Data on the roughness value of the surfaces were obtained, as well as a cloud of surface points, on the basis of which a surface digital twin was reconstructed, based on which the thermal contact resistance was calculated at different values of heat flux and pressure.

At the same values of pressure and temperature, an experiment was carried out, during which the values of approach of the two surfaces to each other were determined, which allowed to make calculations taking into account the pressure changes due to temperature expansion of the samples. The results obtained experimentally showed a satisfactory correlation with the results obtained by numerical simulation.

Горячая часть авиационных ГТД, методика оптимизации состава и конструкций их модулей

Кузьмин Е.В., Нестеренко В.Г.
МАИ, г. Москва, Россия

Модульность авиационных ГТД обеспечивает продление их эксплуатации по техническому состоянию при минимально возможных временных затрат на выполнение замены их не исправных узлов. Ресурс горячей части современных авиационных ГТД примерно вдвое меньше, чем ресурс их холодных частей. Поэтому при проектировании и эксплуатации ГТД необходимо обращать особое внимание на проектирование и разработку технологии замены модулей их горячей части, связанные с повреждаемостью их критичных узлов. В данной работе представлены результаты исследований технических возможностей замены в

эксплуатации узлов двух наиболее повреждаемых главных модулей - камеры сгорания и турбины газогенератора, их разделения на отдельные подмодули, включающие: жаровую трубу камеры сгорания и сопловой аппарат турбины, составные части этих главных модулей, которые могут быть отдельно заменены в эксплуатации и которые обеспечивают работоспособность этих главных модулей.

Трудность решения этой задачи состоит в том, что на наружных корпусах, снятых с летательных аппаратов авиационных ГТД имеется так называемая обвязка, состоящая из множества отдельных агрегатов, трубопроводов и электрических коммуникаций, их объединяющих. Эта обвязка существенно препятствует доступу к главным модулям, образующим конструкцию узлов самого ГТД. Поэтому первым шагом в этом исследовании был анализ возможности упорядочения обвязки модульных ГТД, разработке рекомендаций по такому её проектированию, которое бы позволяло облегчить доступ к его главным модулям.

Создание модульных ГТД нельзя начинать на конечном этапе их проектирования и доводки. Представлены рекомендации по особенностям конструкции стыковочных узлов отдельных модулей и технологии их замены при горизонтальной или вертикальной его установке в процессе ремонта, которые обеспечивают требования соосности и заменяемости вновь устанавливаемых узлов. Глубина деления на отдельные модули не может быть полностью одинаковой в ГТД различного типа и назначения. Для демонстрации этих особенностей представлены примеры модульности конструкции, реализованные в ряде отечественных и иностранных ТРДД, ТРДДф и ТВД (ТВлД).

Конечной целью разрабатываемой методики, а также многих других современных исследований по совершенствованию конструкций отечественных авиационных ГТД, является продление срока их эксплуатации по техническому состоянию и разработка рекомендаций по достижению такого межремонтного ресурса силовой установки, который бы соответствовал ресурсным требованиям к планеру летательного аппарата.

Hot part of aircraft GTEs, methodology of optimization of composition and designs of their modules

Kuzmin E.V., Nesterenko V.G.
MAI, Moscow, Russia

Modularity of aviation GTEs provides prolongation of their operation in terms of technical condition with minimum possible time costs for replacement of their nonfunctional units. Resource of the hot part of modern aviation GTEs is approximately twice less than the resource of their cold parts. Therefore, when designing and operating GTEs, it is necessary to pay special attention to the design and development of technology for replacement of modules of their hot part, related to the damageability of their critical nodes. The present work presents the results of studies of technical possibilities of replacement in operation of nodes of two most damaged main modules - combustion chamber and gas generator turbine, their division into separate submodules, including: combustion chamber flame tube and turbine nozzle device, components of these main modules, which can be separately replaced in operation and which ensure the operability of these main modules.

The difficulty in solving this problem lies in the fact that on the outer hulls of aircraft GTEs removed from aircraft there is the so-called bundling, which consists of many individual units, pipelines and electrical communications, uniting them. This bundling significantly impedes access to the main modules, which form the structure of the GTE units themselves. Therefore, the first step in this study was to analyze the possibility of streamlining the bundling of modular GTEs, to develop recommendations on such a design that would facilitate access to its main modules.

Creation of modular GTEs cannot be started at the final stage of their design and refinement. Recommendations are presented on the peculiarities of design of docking units of separate modules and technology of their replacement in case of horizontal or vertical installation in the process of repair, which ensure the requirements of coaxiality and replaceability of newly installed assemblies. Depth of division into separate modules cannot be completely the same in GTEs of different type and purpose. To demonstrate these features, examples of design modularity, implemented in a number of domestic and foreign turbofans, TRDDf and TVlD are presented.

The ultimate goal of the developed methodology, as well as many other modern studies on the improvement of domestic aviation GTE designs, is to extend their service life in terms of technical condition and to develop recommendations on achieving such a power plant life between repairs, which would meet the resource requirements for the airframe of the aircraft.

Моделирование теплового и термонапряженного состояния дисков турбин ГТД с использованием индукционного нагрева при испытаниях

Лепешкин А.Р., Циньвей Ху, Поперечный С.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Испытания полноразмерных авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) требуют больших затрат. В связи с этим, узловые испытания дисков турбин ГТД на специальных разгонных стендах снижают общие затраты и позволяют оперативно определять циклическую долговечность деталей ГТД с моделированием их эксплуатационного теплового состояния и с использованием индукционного нагрева [1-5]. Несмотря на то, что индукционный нагрев позволяет достаточно точно воспроизводить нестационарные теплонапряженные состояния дисков турбин, соответствующие заданным условиям, в циклических испытаниях необходимо учитывать влияние частоты тока на экспериментальное моделирование их термонагружения.

Исследование этого влияния проводилось на основе математического моделирования температурного режима диска с учетом имеющихся экспериментальных данных в условиях поверхностного нагрева (газовый нагрев в условиях эксплуатации) и индукционный нагрев на частоте 2500 Гц. В результате были получены режимы тепловых потоков и термонапряженного состояния диска в разных условиях нагрева для обеспечения заданного циклического изменения температуры.

На основе полученных расчетных результатов была получена эмпирическая формула разности термонапряжений (с учетом условий эксплуатационного поверхностного нагрева и индукционного нагрева) в зависимости от частоты тока. По указанной эмпирической формуле получено, что для обеспечения режима нагрева на ободе диска требуется повысить частоту тока до 10 кГц. В этом случае будет обеспечено воспроизведение термонапряженного состояния с погрешностью (разностью) 10÷20 МПа. Полученные выше результаты были использованы при испытаниях дисков турбин авиационных ГТД на разгонном стенде с повышением точности моделирования их термонапряженного состояния.

Разработанную методику и полученные рекомендации в данной работе можно использовать при испытаниях дисков и рабочих колес турбин ГТД и ГТУ на разгонных стендах в машиностроении и энергетике.

Литература:

1. Лепешкин А.Р., Ильинская О.И., Кувалдин А.Б., Лепешкин С.А. Исследова-ние нагрева вращающихся дисков турбин в электромагнитном поле, создан-ном с использованием специальных индукторов и сильных постоянных магни-тов // Известия РАН. Энергетика. 2020. № 2. – С. 112-122.

2. Лепешкин А. Р., Кувалдин А.Б., Ильинская О.И. и др. Моделирование нагре-ва вращающихся дисков в электромагнитном поле с использованием постоян-ных магнитов // Известия РАН. Серия физическая. 2021. Т. 85. № 11. – С. 1532-1534.

3. Kuvaldin A., Lepeshkin S., Lepeshkin A. Modelling of heating of rotating disks in electromagnetic field using special inductors // 18th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2014 - Proceedings. 2014. С. 6871867.

4. Kuvaldin A.B., Lepeshkin S.A., Lepeshkin A.R. Dual-frequency power supply system and inductors for heating of rotating disks in an electromagnetic field // Acta Technica CSAV (Ceskoslovensk Akademie Ved). 2014. Т. 59. № 3. С. 279-290.

5. Кувалдин А.Б., Лепешкин А.Р., Лепешкин С.А. Метод испытаний дисков турбомашин и бандажей роторов турбогенераторов с использованием индукционного нагрева // Электричество. 2009. № 7. С. 33-38.

Modeling of thermal and thermostressed state of turbine GTD disk using induction heating in tests

Lepeshkin A.R., Qinwei Hu, Poperechnii S.S.
MAI, Moscow, Russia

Tests of full-size aircraft gas turbine engines (GTEs) is costly. In this regard, nodal testing of GTE turbine disks on special accelerating stands reduces the overall costs and allows you to quickly determine the cyclic durability of GTE parts with modeling of their operational thermal state and using induction heating [1-5]. Despite the fact that induction heating makes it possible to fairly accurately reproduce non-stationary heat-stressed states of turbine disks corresponding to specified conditions, in cyclic tests it is necessary to take into account the effect of current frequency on experimental modeling of their thermal loading.

The study of this effect was carried out on the basis of mathematical modeling of the temperature regime of the disk, taking into account the available experimental data under conditions of surface heating (gas heating under operating conditions) and induction heating at a frequency of 2500 Hz. As a result, the regimes of heat flows and the thermally stressed state of the disk were obtained under different heating conditions to ensure a given cyclic temperature change.

Based on the obtained calculated results, an empirical formula for the difference in thermal stresses was obtained (taking into account the conditions of operational surface heating and induction heating) depending on the current frequency. According to the indicated empirical formula, it was obtained that in order to ensure the heating mode on the disk rim, it is required to increase the current frequency to 10 kHz. In this case, reproduction of the thermally stressed state with an error (difference) of 10÷20 MPa will be ensured. The results obtained above were used in testing tur-bine disks of aircraft gas turbine engines on an accelerating stand with an increase in the accuracy of modeling their thermally stressed state.

The developed methodology and the recommendations received in this work can be used when testing the disks and impellers of gas turbine engines and gas turbines on accelerating stands in mechanical engineering and energy.

References:

1. Lepeshkin A.R., Ilyinskaya O.I., Kuvaldin A.B., Lepeshkin S.A. Investigation of the heating of rotating turbine disks in an electromagnetic field created using special inductors and strong permanent magnets. Izvestiya RAN. Energy. 2020. No. 2. - P. 112-122.

2. Lepeshkin A. R., Kuvaldin A.B., Ilyinskaya O.I. Simulation of heating of rotat-ing disks in an electromagnetic field using permanent magnets // Izvestiya RAN. Physical series. 2021. V. 85. No. 11. - P. 1532-1534.

3. Kuvaldin A., Lepeshkin S., Lepeshkin A. Modeling of heating of rotating disks in electromagnetic field using special inductors // 18th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2014 - Proceedings. 2014. C. 6871867.

4. Kuvaldin A.B., Lepeshkin S.A., Lepeshkin A.R. Dual-frequency power supply system and Inductors for heating of rotating disks in an electromagnetic field // Acta Technica CSAV (Ceskoslovensk Akademie Ved). 2014. V. 59. No. 3. P. 279-290.

5. Kuvaldin A.B., Lepeshkin A.R., Lepeshkin S.A. Method for testing disks of turbomachines and tires of rotors of turbogenerators using induction heating // Electricity. 2009. No. 7. P. 33-38.

Исследование параметров плазмы и пространственной структуры радиальных и обратных потоков ионов в окрестности экспериментального образца СПД-70В, работающего на криптоне

Мельников А.В., Баранов С.В., Ким В.П., Меркурьев Д.В., Шилов Е.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Стационарные плазменные двигатели являются наиболее широко используемыми в космической технике. При этом в настоящее время начали активно разрабатываться и применяться СПД, работающие на альтернативных использовавшемуся ранее ксенону рабочих телах. Среди них активно осваивается криптон, который существенно дешевле ксенона и производится в значительно больших масштабах. Это позволяет решить проблему

обеспечения рабочим телом двигательных установок при формировании больших группировок космических аппаратов, например, таких, как многотысячная орбитальная группировка Starlink. СПД на криптоне уже начали успешно применять в системах управления движением космических аппаратов этой группировки. Поэтому в настоящее время расширяются исследования физических особенностей рабочих процессов подобных СПД разной размерности и мощности. Одним из важных направлений таких исследований является изучение потоков ионов, формирующихся в окрестности двигателя при его работе в результате вторичных процессов, таких как перезарядка ускоренных ионов на нейтральных атомах, практически всегда присутствующих в среде, окружающей работающий двигатель [1]. Эти потоки захватывают с собой электроны из катода-нейтрализатора двигателя и формируют плазменную среду (собственную атмосферу КА), определяющую заряд и потенциал поверхностей КА и могут оказывать влияние на работу его систем. Кроме того, вблизи работающего двигателя присутствуют потоки ионов, образующиеся в окрестности плоскости его выходного сечения и в силу специфики формирования параметров плазмы и электрического поля, движущиеся преимущественно в радиальном направлении. Ионы, формирующие эти потоки, имеют достаточно большие энергии и способны распылять поверхности попадающих в них элементов конструкции КА [2]. Следует также отметить, что до настоящего времени выполнено очень мало исследований в этом направлении даже для двигателей, работающих на ксеноне, а подобные работы с СПД на криптоне авторам не известны. С учетом изложенного в данной работе были экспериментально исследованы параметры плазмы и пространственное распределение направленных ионных токов в окрестности плоскости выходного сечения работающего на криптоне экспериментального образца СПД-70В. Для этого, плоский электростатический зонд перемещался по определённым точкам в горизонтальной плоскости, проходящей через ось двигателя. Предусмотренная конструкцией возможность вращения зонда вокруг вертикальной оси позволила в каждой исследуемой точке регистрировать вольтамперные характеристики (ВАХ) в четырёх направлениях.

Измерения были проведены при работе экспериментального образца СПД-70В, работающего на криптоне с разрядным напряжением 300 В и средней величиной разрядного тока 4,3 А. В результате была впервые получена картина направленных ионных токов и распределения параметров плазмы в окрестности работающего двигателя, отчетливо свидетельствующие о наличии «радиальных» и «обратных» потоков ионов.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке министерства науки и высшего образования Российской Федерации по гранту № 075-15-2021-301 от 19.04.2021.

Литература:

1. В.П. Ким, А.С. Архипов, А.М. Бишаев, Д.В. Меркурьев, Е.К. Сидоренко Исследование формирования потоков ионов перезарядки вблизи выхода из ускорительного канала стационарного плазменного двигателя // Физика плазмы. 2014. Т. 40. №10. С. 937-945

2. Архипов А.С., Ким В., Сидоренко Е.К. Стационарные плазменные двигатели Морозова. М.: МАИ. 2012. 292 с.

Study of Plasma Parameters and Spatial Structure of Radial and Reverse Ion Fluxes in the Vicinity of Experimental Model SPD-70V Operating with Krypton

Melnikov A.V., Baranov S.V., Kim V.P., Merkur'ev D.V., Shilov E.A.
MAI, Moscow, Russia

Stationary plasma thrusters (SPT) are the most widely used in space technology. At the same time, SPTs operating on alternative propellant to the previously used xenon have begun to be actively developed and used. Among them, krypton is being actively used, which is much cheaper than xenon and is produced on a much larger scale. This makes it possible to solve the problem of providing the propellant of propulsion systems during the formation of large spacecraft (SC) constellations, for example, such as the Starlink orbital constellation of many thousands. SPTs on krypton have already begun to be successfully used in the motion control systems of the SC of this constellation. Therefore, at present, studies of the physical features of operating processes of such SPTs of different

dimensions and powers are being expanded. One of the important areas of such research is the study of ion fluxes that form in the vicinity of the thruster during its operation as a result of secondary processes, such as the recharge of accelerated ions on neutral atoms, which are almost always present in the surrounding environment of the operating thruster [1]. These fluxes take with them electrons from the cathode-neutralizer of the thruster and form a plasma medium (the spacecraft's own atmosphere), which determines the charge and potential of the SC surfaces and can affect the operation of its systems. In addition, near the operating thruster, there are ion fluxes that form in the vicinity of the plane of its output section and, due to the specifics of the formation of plasma parameters and the electric field, move mainly in the radial direction. The ions that form these fluxes have sufficiently high energies and are able to sputter the surfaces of the elements of the SC structure, which fall into them [2]. It should also be noted that so far very little research has been done in this direction even for thrusters operating on xenon and the authors are not aware of similar work with SPTs operating on krypton. Taking into account what has been stated in this work, we experimentally studied the plasma parameters and the spatial distribution of directed ion currents in the vicinity of the plane of the output section of the SPD-70V experimental model operating on krypton. To do this, a flat electrostatic probe was moved along certain points in a horizontal plane passing through the thruster's axis. The possibility of rotation of the probe around the vertical axis provided for by the design made it possible to register current-voltage characteristics (CVC) in four directions at each point under study.

The measurements were carried out during the operation of an experimental model SPT-70V operating on krypton with a discharge voltage of 300 V and an average discharge current of 4.3 A. As a result, a picture of directed ion currents and the distribution of plasma parameters in the vicinity of the operating thruster was obtained for the first time, clearly indicating the presence of "radial" and "reverse" ion fluxes.

This work was supported by The Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under grant No. 075-15-2021-301 from April 19, 2021.

References:

1. Kim, V.P. et al. Formation of charge-exchange ion flows near the exit from the stationary plasma thruster acceleration channel // Plasma Phys. Rep. 40, 828–835 (2014)

2. Arhipov A.S., Kim V., Sidorenko E.K. Statsionarnye plazmennye dvigateli Morozova. M.: MAI. 2012. 292 p.

Математическое моделирование компрессора в сосредоточенных параметрах с учетом неравномерности поля параметров потока на входе

Минин А.К., Боровиков Д.А.

МАИ, г. Москва, Россия

С развитием вычислительной техники процесс проектирования компрессоров авиационных газотурбинных двигателей упростился за счет применения методов математического моделирования, использование которых позволяет сократить количество дорогостоящих натурных испытаний. Существует несколько этапов проектирования компрессора, деление между которыми условное, и часто зависит от предприятия, где разрабатывается и изготавливается компрессор [1 – 3]. Одним из этапов проектирования компрессора является расчет его характеристик и границ газодинамической устойчивости. Для повышения точности результатов математического моделирования процессов, происходящих в компрессоре, была поставлена задача построить математическую модель, позволяющую выполнить расчет характеристик и границ газодинамической устойчивости с учётом неравномерности поля параметров потока на входе. Математическое моделирование работы компрессора осуществлялось в программе Amesim. Amesim позволяет описать поведение компрессора с помощью системы дифференциальных уравнений и моделировать динамическое поведение системы без необходимости закладывания подробных геометрических параметров [4].

В ходе работы была построена математическая модель осевого компрессора, состоящая из четырех секторов с независимыми характеристиками, а также объемов и связей между ними. Параметры компрессора были предварительно рассчитаны в программе TurBDesigner [5]. На

входе в каждый сектор компрессора задавалось давление и температура. В результате математического моделирования процесса работы компрессора были получены параметры работы для каждого сектора компрессора. Увеличение количества секторов и разбиение секторов по радиусу позволяет более детально задавать неравномерность полей параметров потока на входе, и повысить точность математического моделирования.

Предложенная математическая модель позволяет учесть влияние неравномерностей параметров в компрессоре при сохранении высокой скорости расчетов и повысить точность математического моделирования на этапах проектировочных расчетов.

Литература:

1. Симонов Н. Б., Кривошеев И. А., Рожков К. Е. Выбор и оптимизация основных параметров турбокомпрессоров при проектировании и доводке ГТД // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2021. – № 67. – С. 96-106.

2. Старцев А. Н. Аэродинамическое проектирование осевого компрессора // Авиационные двигатели. – 2021. – № 3(12). – С. 19-34.

3. Ю. Б. Галеркин, А. Ф. Рекстин, В. Б. Семеновский [и др.] Развитие подходов и опыт оптимального проектирования центробежных компрессоров турбодетандерных агрегатов // Омский научный вестник. Серия Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2022. – Т. 6. – № 2. – С. 9-20.

4. Боровиков Д. А., Тезиков, С. Е. Математическое моделирование беспилотного летательного аппарата с малоразмерной гибридной силовой установкой // 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика», Москва, 2020 г. – Из-во "Перо" – С. 107.

5. Даничев А. В., Минин А. К., Спирин И. В. Разработка программного обеспечения автоматизированного проектирования осевых компрессоров газотурбинных двигателей // Сборник аннотаций конкурсных работ XIII ВММКНТРП «Молодёжь и будущее авиации и космонавтики». – М. Издательство Перо, 2021. – 244 с.

Стандартные требования и их применение при выборе посадок подшипников качения газотурбинных двигателей

Мирзоян И.Н., Карепин П.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Подшипник качения представляет собой один из самых распространенных стандартных узлов, обеспечивающих работу разнообразных изделий авиапроизводителей. Он являются наиболее ответственным элементом опор для валов газотурбинных двигателей (ГТД), редукторов и т.д. Подшипники качения работают в сложных условиях, характеризующихся высокими радиальными и осевыми нагрузками, высокими температурами, большой окружной скоростью, что заставляет устанавливать высокие требования к их работоспособности, долговечности и т.д. Поэтому большое значение имеет совершенствование методики разработки и проектирования опор ГТД.

Проектирование опор ГТД представляет собой целый комплекс расчетных, конструкторских и опытно-экспериментальных работ, среди которых особое место занимает проектирование (подбор) подшипников качения. Подбор подшипника осуществляется с учетом разнообразных факторов, таких как, рабочие условия, монтажные схемы, особенности установки, схемы размещения и пр. Большое значение при подборе подшипников качения являются определении их долговечности в соответствии с ГОСТ 18855-2013, проведение оценки частоты вращения на основе ГОСТ 32305-2013 или ГОСТ 20918-75.

Не менее важной частью является обоснование посадок колец подшипника с поверхностями соединяемых деталей. Термины и определения геометрической точности на присоединительные размеры, точности вращения и внутренних зазоров подшипников качения приведены в ГОСТ 25256-2013. Классы точности и соответствующие допуски на присоединительные поверхности подшипников качения представлены в ГОСТ 520-2011. Обоснование посадок для посадочных поверхностей сплошных и толстостенных деталей при

рабочей температуре не более 100°С дано в ГОСТ 3325-85. Учитывая специфику проектирования опор ГТД, элементы которых характеризуются тонкостенностью и особыми условиями работы, для выбора посадок и установления требований к точности был разработан специальный стандарт ГОСТ Р 58996-2020. Однако при разработке данного стандарта был допущен ряд разного рода неточностей, связанных с теоретическими положениями, методологией изложения, используемой терминологией. Анализ выявленных неточностей позволил установить, что к наиболее существенным следует отнести отсутствие логики при изложении выбора посадок, использование ссылок на отмененные стандарты, использование устаревших терминов и определений.

Standard requirements and their application in the selection of rolling bearings for gas turbine engines

Mirzoyan I.N., Karepin P.A.
MAI, Moscow, Russia

The rolling bearing is one of the most common standard components that ensure the operation of a variety of aircraft manufacturers' products. They are the most important element of the supports for the shafts of gas turbine engines (GTE), gearboxes, etc. Rolling bearings work in difficult conditions, characterized by high radial and axial loads, high temperatures, high circumferential velocity, which makes to set high requirements to their operability, durability, etc. Therefore, the improvement of the methodology of development and design of GTE supports is of great importance.

Designing of GTE supports represents the whole complex of calculation, design and experimental works, among which a special place belongs to designing (selection) of roller bearings. Selection of a bearing is carried out taking into account various factors, such as operating conditions, mounting diagrams, installation features, layout schemes, etc. Great importance in the selection of rolling bearings is to determine their durability in accordance with GOST 18855-2013, to assess the frequency of rotation based on GOST 32305-2013 or GOST 20918-75.

An equally important part is the justification of the seating of the bearing rings with the surfaces of the connected parts. Terms and definitions of geometric accuracy on the connecting dimensions, accuracy of rotation and internal clearances of rolling bearings are given in GOST 25256-2013. Accuracy classes and the corresponding tolerances for the mounting surfaces of rolling bearings are given in GOST 520-2011. The substantiation of fits for the mounting surfaces of solid and thick-walled parts at an operating temperature not exceeding 100°C is given in GOST 3325-85. Taking into account the specificity of design of GTE supports, the elements of which are characterized by thin walls and special operating conditions, a special standard GOST R 58996-2020 was developed for selection of fits and establishment of requirements to accuracy. However, during the development of this standard, a number of various inaccuracies related to theoretical provisions, methodology of statement, used terminology were admitted. The analysis of the identified inaccuracies allowed to establish that the most significant should include the lack of logic in the presentation of the choice of fits, the use of references to the repealed standards, the use of outdated terms and definitions.

The mathematic simulation of the compressor at the lumped variables in consideration distortion of the input flow parameters field

Minin A.K., Borovikov D.A.
MAI, Moscow, Russia

With advancement of the computational equipment the compressor design process of the aviation gas turbine engine is simplified due to application the mathematical modeling methods using its allow to reduce expensive full-scale tests number. Several compressor design stage the division between which is conditional and often is depended on company, where a compressor is developed and manufactured, is existed [1 – 3]. One of the compressor design stage is compressor performance map and surge margin calculation. To increase the precision of the mathematical modeling results of the processes that proceeds in compressor has been set the task to design mathematical modeling allowing perform compressor performance map and surge margin calculation subject to distortion of the input flow parameters field. The compressor operation mathematical modeling is carried out in

Amesim software. Amesim is able to describe compressor behaving via differential equations systems without necessity detailed geometrical parameters [4].

In this paper, the axial compressor mathematic model has been developed that contains the four sectors with independent characteristics as well as volumes and connections between them. The compressor parameters has been previously calculated in TurBDesigner software [5]. The pressure and temperature are set the each compressor sector input. The each compressor sector operation parameters has been obtained as the mathematical modeling result. Sectors number increase and sectors splitting by radius are capable more details to set distortion of the input flow parameters field, and to increase the mathematic simulation accuracy.

Proposed mathematic model allows to consider the parameters distortion impact in compressor saving high calculation speed, and to increase precision of the mathematical modeling on design calculations stages.

Проектирование и сертификация воздушного стартера на соответствие требованиям современных норм летной годности АП-33 в части локализации фрагментов ротора

Морозова М.В., Иноземцев А.А., Гладкий И.Л., Кирпичев А.С.
АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, Россия

При проектировании воздушно-турбинного стартера СтВ-14 двигателя ПД-14 был решен комплекс вопросов, связанных с подтверждением локализации фрагментов ротора корпусами стартера при возможном разрушении ротора.

Была спроектирована бронезащита стартера, обладающая минимальной массой и габаритами и обеспечивающая локализацию любых фрагментов ротора в случае возможного его разрушения. При проектировании бронезащиты была разработана новая аналитическая методика расчета непробиваемости, адаптированная к особенностям поведения брони при разрушении роторов агрегатов.

Дополнительно, выполнено моделирование разрушения ротора и взаимодействие с бронезащитой в 3D постановке методом конечных элементов с использованием механических характеристик материала бронезащиты при высоких скоростях деформирования, определенных по методу Гопкинсона-Кольского.

Были разработаны и реализованы мероприятия, предотвращающие раскрытие стыков корпусов стартера при разрушении ротора.

Были разработаны и реализованы конструктивные решения, подобраны материалы для обеспечения отсутствия опасных последствий при выходе из строя упорного подшипника ротора в условиях масляного голодания.

Были успешно использованы особенности конструкции ротора стартера, минимизирующие вылет фрагментов разрушившегося ротора через окна выхода воздуха из воздушного стартера.

На испытаниях стартера с разрушением ротора были реализованы мероприятия для однозначного подтверждения того, что при разрушении ротора не образуются фрагменты с высокой энергией.

Были выполнены расчетно-аналитические работы по разработке способа доработки ротора стартера для обеспечения его разрушения на нужное количество фрагментов нужной формы на заданной частоте вращения ротора для реализации наиболее опасного сценария разрушения.

Были успешно проведены испытания стартера по подтверждению «радиальной локализации» и «осевой локализации» фрагментов ротора, подтвердившие отсутствие появления фрагментов с высокой кинетической энергией при разрушении ротора.

Air Starter design and airworthiness certification in compliance to contemporary AP-33 specifications regarding rotor fragments localization

Morozova M.V., Inozemtsev A.A., Gladky I.L., Kirpichev A.S.
JSC “UEC-Aviadvigatel”, Perm, Russia

While designing jet engine PD-14 StV-14 air starter a set of issues concerning burst rotor fragments localization by the starter casings was resolved.

Minimal mass and size starter armor protection was designed, which provides localization of any rotor fragments in case of its possible failure. While designing starter armor protection a new analytical method of armor penetration analysis was developed, adapted to the specifics of casings behavior in a rotor burst scenario.

Additionally the modelling of the rotor burst event and the interaction of the rotor fragments with armor protection was performed by means of 3D finite element analysis, using mechanical material properties of armor protection at high strain rates which were determined by the Hopkinson-Kolsky method.

Special measures were designed to prevent starter casings flanges opening in case of a rotor burst event.

Engineering solutions were developed and implemented, materials selected in order to avoid hazardous engine events in case of starter rotor thrust bearing failure as a result of scarce lubrication.

Certain starter rotor design features were exploited for minimizing the escape of burst rotor fragments through air exhaust windows.

During the destructive starter test with rotor burst measures were taken to definitely confirm that high energy fragments do not occur as a result of rotor failure.

A set of computational analyses was performed to develop modifications for starter rotor, which ensure it separates on appropriate amount of fragments with appropriate shape at a given rotational speed for enacting the most dangerous burst scenario.

The tests were conducted confirming successful radial and axial burst rotor fragment containment. The test results prove there will be no high kinetic energy rotor fragments created as a result of rotor burst.

Рекомендации по совершенствованию моделирования цифрового аналога двигателя нового поколения

Набиева Д.Г., Трегубенков С.Ю., Филина И.И.
МАИ, г. Москва, Россия

Существует необходимость в создании двигателей нового поколения, так как наблюдается низкая динамика показателей авиационного двигателестроения. Требуется повышение эффективности существующих авиационных двигателей. Более высокие требования, предъявляемые к газотурбинным авиационным двигателям, приводят к значительному росту расходов при эксплуатации. Основная задача при новом подходе к авиационному двигателестроению обеспечение минимальной стоимости жизненного цикла, вновь разрабатываемого или модифицируемого двигателя.

В конструкции предложенного экспериментального образца газотурбинного двигателя нового поколения применена укороченная высокотемпературная камера смешения, подобная камерам сгорания, используемым в ракетных двигателях космической техники, которая позволяет увеличить количество сжигаемого топлива, и, соответственно, повысить тягу до уровней, которые в настоящее время требуют перехода на форсажные режимы работы силовой установки. Новая силовая установка должна обеспечивать устойчивое переключение степени двухконтурности на разных режимах полета. За счет возможности переключения двигателя между режимами и будет достигаться топливная эффективность. При полете на крейсерской дозвуковой скорости «третий воздушный контур» будет открыт, что позволит снизить потребление топлива.

В целях сокращения временных и материальных затрат, предлагается внедрять компьютерное моделирование вместо стандартных стендовых испытаний. Компьютерное моделирование основано на предложенной модели прочностной надежности детали. Также такой вид моделирования позволяет сократить объемы опытной доводки при создании новых авиационных двигателей.

Изучен полный жизненный цикл создаваемого двигателя нового поколения. Рассмотрены системы управления полным жизненным циклом высокотехнологичной продукции авиационного двигателестроения. Проведён анализ турбореактивных двигателей с изменяемым рабочим процессом, выполненных на основе существующих двухконтурных

двигателей. Проведено моделирование цифрового аналога двигателя нового поколения с изменяемым рабочим процессом и регулируемым расходом через третий контур. Разработана система показателей оценки эффективности создания двигателя нового поколения с учётом экономических производственных параметров.

Recommendations for improving the simulation of the digital analogue of the new generation engine

Nabieva D.G., Tregubenkov S.Y., Filina I.I.
MAI, Moscow, Russia

There is a need to create a new generation of engines, as there is a low dynamics of indicators of aircraft engine building. An increase in the efficiency of existing aircraft engines is required. Higher requirements for gas turbine aircraft engines lead to a significant increase in operating costs. The main task in the new approach to aviation engine building is to ensure the minimum cost of the life cycle of a newly developed or modified engine.

In the design of the proposed experimental sample of a new generation gas turbine engine, a shortened high-temperature mixing chamber is used, similar to combustion chambers used in rocket engines of space technology, which allows increasing the amount of fuel burned, and, accordingly, increasing thrust to levels that currently require switching to afterburner modes of operation of the power plant. The new power plant should ensure stable switching of the degree of two-circuit on different flight modes. Due to the possibility of switching the engine between modes, fuel efficiency will be achieved. When flying at cruising subsonic speed, the "third air circuit" will be opened, which will reduce fuel consumption.

In order to reduce time and material costs, it is proposed to introduce computer modeling instead of standard bench tests. Computer simulation is based on the proposed model of the strength reliability of the part. Also, this type of modeling allows you to reduce the amount of experimental refinement when creating new aircraft engines.

The full life cycle of the new generation engine being created has been studied. Control systems for the full life cycle of high-tech products of aviation engine building are considered. The analysis of turbojet engines with variable working process, made on the basis of existing two-circuit engines, is carried out. The simulation of a digital analogue of a new generation engine with a variable workflow and adjustable flow rate through the third circuit is carried out. A system of indicators for evaluating the efficiency of creating a new generation engine, taking into account economic production parameters, has been developed.

Исследование твердосмазочных покрытий системы TiN-Pb

Николаев И.А., Лесневский Л.Н., Савушкина С.В., Ляховецкий М.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Твердые смазочные покрытия TiN-Pb формировали на образцах из сплава ВТ6 в процессе реакционного магнетронного сораспыления двух раздельных моноэлементных катодов (титана марки ВТ1-0 и свинца чистотой 99,5 %). Общее время напыления составляло 360 мин. Содержание Pb в покрытии в среднем составило 12 ат.%. Основной слой покрытия можно разделить на два слоя – внутренний, который характеризуется равномерным распределением Pb, и верхний, характеризующийся наличием островков с повышенным содержанием Pb. Обычно покрытие TiN, полученное методами осаждения, имеет ярко выраженную столбчатую структуру. В данном случае для структуры характерны кристаллиты нанометрового размера. Отсутствие столбчатой структуры покрытия связано с прерывистым его ростом, обеспечиваемым Pb, который не растворяется в TiN матрице и имеет слабую склонность к нитридизации. Трибологические испытания покрытия TiN-Pb проводились в условиях малоамплитудного трения - фреттинг-износа в следующем диапазоне параметров нагружения: перемещение D = 5-60 мкм; нормальная нагрузка в контакте Fn = 1-13 Н; частота перемещения f = 20 Гц; количество циклов n = 104. В качестве контртела использовали сферу из стали ШХ-15 диаметром 12,6 мм. Для диагностики механизма трения при фреттинге в работе был использован энергетический подход. Часть результатов экспериментов соответствовало

возвратно-поступательному скольжению, т.е. обычному процессу трения без характерных для фреттинга особенностей взаимодействия трущихся тел. В смешанном режиме (D=15 мкм, Fn=10 Н) формируется ярко выраженная сеть трещин на всей площади пятна контакта на поверхности покрытия. В режиме полного скольжения (D=30 мкм, Fn=3 Н) начинают превалировать процессы абразивного взаимодействия. Режим возвратно-поступательного скольжения, как и режим частичного проскальзывания, для твердого смазочного покрытия системы TiN-Pb возникает в узких диапазонах нагрузок и перемещений. Основным режимом трения при фреттинге является режим полного скольжения. Смешанный режим также возникает в узком диапазоне нагрузок, при этом образуется сеть трещин, которая может привести к его отслаиванию. В режиме полного скольжения устанавливается коэффициент трения равный ~0.25, что значительно ниже коэффициента трения TiN без добавок Pb, который находится в диапазоне ~0.75-0.9.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-19-00754).

Study of solid lubricant coatings of the TiN-Pb system

Nikolaev I.A., Lesnevskiy L.N., Savushkina S.V., Lyakhovetsky M.A.
MAI, Moscow, Russia

TiN-Pb solid lubricant coatings were formed on samples of VT6 alloy in reactive magnetron co-sputtering process of two separate cathodes (VT1-0 titanium and 99.5% purity lead). The total deposition time was 360 min. The Pb content in the coating was 12 at.%. The coating structure can be divided into two layers. The inner layer has a uniform distribution of Pb. The upper layer is characterized by islands with an increased Pb content. Typically, the TiN coating obtained by deposition methods has a pronounced columnar structure. In this case, the structure contains nanometer-sized crystallites. The absence of a columnar structure is due to its discontinuous growth provided by Pb, which does not dissolve in the TiN matrix and has a weak tendency to the nitrides formation. Tribological tests of the TiN-Pb coating were carried out under conditions of low-amplitude friction - fretting wear in the following range of loading parameters: displacement D = 5-60 μm; normal contact load Fn = 1-13 N; displacement frequency f = 20 Hz; the number of cycles n = 104. A sphere made of steel with a diameter of 12.6 mm was used as a counter body. An energy approach was used to estimate the mechanism of friction during fretting. Part of the experimental results corresponded to reciprocating sliding, i.e. the usual process of friction without the peculiarities of the interaction of rubbing bodies characteristic of fretting. In mixed mode (D=15 μm, Fn=10 N), a pronounced network of cracks is formed over the entire area of the contact patch on the coating surface. In the full slip mode (D=30 μm, Fn=3 N), abrasive interaction processes begin to prevail. The reciprocating sliding mode, as well as the partial slip mode, occurs in narrow ranges of loads and displacements for the TiN-Pb system solid lubricating coating. The main mode of friction during fretting is the full slip mode. Mixed mode also occurs in a narrow range of loads accompanied with the formation of a network of cracks, which can lead to its delamination. In the full slip mode, the friction coefficient is ~0.25, which is significantly lower than the friction coefficient of TiN without Pb additives, which is in the range of 0.75–0.9.

This work was supported by the Russian Science Foundation (grant no. 22-19-00754).

Газодинамика камеры сгорания ГТД при воздействии несимметричного течения за компрессором

Носкова К.Р., Гурьянова М.М., Гурьянов А.И.
РГАТУ имени П.А. Соловьева, г. Рыбинск, Россия

Несимметричность профиля скорости за компрессором возникает в связи с нестационарностью течения из-за взаимодействия рабочего колеса и спрямляющего аппарата. Вследствие влияния несимметричности ухудшаются интегральные характеристики камеры сгорания (КС) [1, 2].

Выполнено численное моделирование ступени ЦБК. В проточной части отражается физическая структура дозвукового течения потока при обтекании пространственных лопаток

(основной и сплиттерной) с локальными сверхзвуковыми областями при переходе потока из роторной части рабочего колеса в статорную с лопаточным диффузором (граница раздела ротор-статор). Наибольшее значение скорости и полного давления (трансзвуковая область) наблюдается вблизи границы раздела рабочего колеса и диффузора.

Оценка несимметричности профиля скорости за компрессором проводится коэффициентом K, определяемым отношением среднерасходных скоростей потока в верхнем и нижнем полуканалах.

В результате расчетов на выходе из компрессора получена эпюра скорости с коэффициентом K>1. Дополнительно спроектированы генераторы, на выходе из которых образуется профиль скорости при K=1, K>1 и K<1. Полученные эпюры скорости заданы в КС в виде граничного входного условия.

При симметричной эпюре скорости (K=1) наружный и внутренний кольцевые каналы равномерно заполняются рабочим телом, равномерное затекание наблюдается и во фронтовом устройстве. В области внезапного расширения образуются зоны обратных токов. При K<1, преимущественно расход воздуха направлен в нижний кольцевой канал. Интенсивность отрывной зоны в области внезапного расширения возрастает, наблюдается нелобовое столкновение максимального импульса струи с обтекателем. Это приводит к существенно неравномерной подаче воздуха в зону смешения. Вблизи нижней стенки возникает интенсивная вихревая зона и на выходе из КС наблюдается смещение линий тока и максимум расхода в верхней стенке жаровой трубы.

Выяснено, что наименьшие значения гидравлических потерь по тракту камеры в случаях, при которых входной профиль скорости представлен в виде симметричной эпюры. При отклонении в области K>1 и K<1 коэффициент ξ существенно возрастает.

Выполненные исследования позволили изучить структуру течения в условиях несимметричности входной скорости. Разработан метод усовершенствования газодинамической эффективности КС ГТД за счет внесения в поле течения симметричной эпюры скорости с коэффициентом K, близким к 1, что позволяет обеспечить максимально полную величину давления на выходе из КС и соответственно минимум гидравлических потерь.

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение фундаментальных научных исследований (шифр научной темы 0774-2020-0004; АААА-А20-120120790010-3).

Литература:

1. Gur'yanova M. M. Joint effect of input asymmetrical velocity profile and initial turbulence intensity on hydraulics of a separated diffuser of GTE combustion chamber / M. M. Gur'yanova, Sh. A. Piralishvili // Russian Aeronautics (Iz.VUZ). 2016. Vol. 59. №2. Pp. 197-205.

2. Guryanova M. M. Investigation of the Effect of the Output Parameters of the Flow behind the Compressor on the Gas Dynamics of the Separation Diffuser of the Combustion Chamber / M. M. Guryanova, K. R. Timofeeva, A. I. Guryanov // AIP Publishing. 2020. №2211. Pp. 1-5.

GTE combustion chamber gas dynamics under influence of asymmetric compressor outlet flow

Noskova K.R., Guryanova M.M., Guryanov A.I.
RSATU, Rybinsk, Russia

The asymmetry of the velocity profile downstream of the compressor arises due to the non-stationarity of the flow due to the interaction of the impeller and the straightener. Due to the influence of asymmetry, the integral characteristics of the combustion chamber deteriorate [1, 2].

Numerical modeling of a centrifugal compressor stage has been performed. The flow part reflects the physical structure of the subsonic flow when flowing around three-dimensional blades (main and splitter) with local supersonic areas when the flow passes from the rotor part of the impeller to the stator part with a bladed diffuser (rotor-stator interface). The highest value of velocity and total pressure (transonic region) is observed near the interface between the impeller and diffuser.

Estimation of the asymmetry of the velocity profile after the compressor is carried out by the coefficient K, determined by the ratio of the average flow rates in the upper and lower half-channels.

As a result of calculations at the outlet of the compressor, a velocity diagram with a coefficient K>1 was obtained. Additionally, generators were designed, at the output of which a velocity profile is formed at K=1, K>1 and K<1. The resulting velocity diagrams are given to the combustion chamber in the form of a boundary input condition.

With a symmetrical velocity diagram (K=1), the outer and inner annular channels are uniformly filled with the working fluid, uniform leakage is also observed in the front device. In the region of sudden expansion, zones of reverse currents are formed. At K<1, the air flow is predominantly directed to the lower annular channel. The intensity of the separation zone in the region of sudden expansion increases, and a non-frontal collision of the maximum momentum of the jet with the fairing is observed. This leads to a significantly uneven air supply to the mixing zone. An intense vortex zone appears near the bottom wall, and at the combustion chamber outlet, a shift of the streamlines and a maximum flow rate in the upper wall of the flame tube are observed.

It was found that the smallest values of hydraulic losses along the chamber path are in cases in which the input velocity profile is presented in the form of a symmetrical diagram. With a deviation in the region K>1 and K<1, the coefficient ξ increases significantly.

The performed studies made it possible to study the flow structure under the conditions of inlet velocity asymmetry. A method has been developed to improve the gas-dynamic efficiency of the combustion chamber of a gas turbine engine by introducing a symmetrical velocity diagram with a coefficient K close to 1 into the flow field, which makes it possible to provide the maximum total pressure at the outlet of the combustion chamber and, accordingly, a minimum of hydraulic losses.

The work was carried out within the framework of the state task for the implementation of fundamental scientific research (scientific theme code 0774-2020-0004; AAAA-A20-120120790010-3).

Оценка эффективности способа увода объекта космического мусора ионным пучком из области низких околоземных орбит

Обухов В.А., Пейсахович О.Д., Свотина В.В., Усовик Игорь
МАИ, г. Москва, Россия

Наибольшая популяция космического мусора наблюдается в районе НОО с высотами 600-1000 км и наклонениями 80-100 градусов [1]. Удаление космического мусора именно из этого района является первоочередной задачей. По этой причине в статье рассматриваются проблемные вопросы реализации способа увода крупногабаритных тяжелых объектов космического мусора (ОКМ) ионным пучком с низкой орбиты с большим наклонением. Космический аппарат (КА) для этого может содержать два электроракетных двигателя (ЭРД) типа стационарного плазменного двигателя (СПД), каждый из которых установлен с возможностью независимого вращения относительно двух взаимно перпендикулярных направлений. Ионный пучок (ИП) воздействующий на ОКМ, формируется ионным инжектором (ИИ), за прототип которого можно рассматривать ионный двигатель одного из известных типов [2]. Для такой концепции предложены стратегия и алгоритм управления центром масс КА. Для практической реализации управления разработан алгоритм управления поворотом ЭРД для создания требуемых значений проекций ускорения КА [3]. При этом должна обеспечиваться ориентация солнечных панелей (СП) на Солнце. Изменение переданного импульса ИП рассматривается с помощью простой имитационной модели [4].

Математическое моделирование проводилось для следующих условий:

- Параметры начальной орбиты: высота: 800 км; эксцентриситет: 0,0005; наклон: 90 градусов.
- Начальная орбитальная дистанция между КА и ОКМ 30-40 м;
- Масса ОКМ 2000 кг, масса КА 1500 кг.
- Тяга ЭРД варьировалась.
- Тяга ИИ 65 мН;

Увод ОКМ рассматривался в течение 100 дней. Для предложенного алгоритма управления получен диапазон возможных тяг ЭРД, позволяющий реализовать транспортировку ОКМ с низкой орбиты. Отслеживание точной ориентации СП на Солнце при малых значениях угла

между направлением на Солнце и плоскостью орбиты приводит к большим значениям второй производной изменения угла крена, что требует значительных управляющих моментов для ориентации КА. Результаты моделирования показывают, что способ увода ионным пучком достаточно эффективен при уводе ОКМ с низких орбит с большим наклонением с учетом управления креном для сохранения ориентации СП на Солнце.

В дальнейших исследованиях необходимо использовать более строгую модель взаимодействия ионного пучка с ОКМ и модель зависимости аэродинамического торможения ГКА на разных участках орбиты от углового положения

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках «Госзадания», грант FSFF-2020-0014.

Литература:

1. V.V. Adushkin, O.Y. Aksenov, S.S. Veniaminov, S.I. Kozlov, V.V. Tyurenkova. The small orbital debris population and its impact on space activities and ecological safety. Acta Astronaut., 176 (2020), pp. 591–597. DOI: 10.1016/j.actaastro.2020.01.015.

2. F. Chichoci, M. Merino, E. Ahedo. Spacecraft-plasma-debris interaction in an ion beam shepherd mission. Acta Astronaut., 146 (2018), pp. 216-227. DOI: 10.1016/j.actaastro.2018.02.030.

3. S. Loginov, I. Usovik, M. Yakovlev, V. Obukhov, G. Popov, V. Svotina, Yu. Vilkov, V. Kirillov, V. Popov. Contactless removal of space debris from the defending GEO region. Kosmonavtika i Raketostroenie 5 (98) (2017), pp. 28-36. [in Rus.].

4. V.A. Obukhov, A.I. Pokryshkin, V.V. Svotina. Thruster rotation angle control during contactless removal of space debris objects. Applied Mathematics and Computational Mechanics for Smart Applications. Proceedings of AMMAI 2020, Vol. 217. pp. 127-139.

Evaluation of the efficiency of the method for removing a space debris object by an ion beam from the region of low near-Earth orbits

Obukhov V.A., Peysakhovich O.D., Svotina V.V., Usovik I.V.
MAI, Moscow, Russia

The largest population of space debris is observed in the LEO region with altitudes of 600–1000 km and inclinations of 80–100 degrees [1]. The removal of space debris from this region is a priority. The article considers the problematic issues of implementing a method for removal of large-sized space debris objects (SDO) by an ion beam (IB) from a low orbit with a high inclination. The spacecraft (S/C) for this may contain two electric propulsion (EP) type of stationary plasma thrusters, each of which is installed with the possibility of independent rotation about two mutually perpendicular directions. The IB acting on the SDO is formed by an ion injector (II), the prototype of which can be considered an ion engine of one of the known types [2]. For such a concept, a strategy and algorithm for controlling the center of mass of the spacecraft are proposed. For the practical implementation of control, an algorithm for controlling the rotation of the EP thrusters has been developed to create the required values of the spacecraft acceleration projections [3]. In this case, the orientation of solar panels (SP) to the Sun should be ensured. The change in the transferred IB momentum is considered using a simple simulation model [4].

Mathematical modeling was carried out for the following conditions:

- Initial orbit parameters: altitude 800 km, eccentricity 0.0005, inclination 90 degrees;
- Initial orbital distance between the spacecraft and SDO 30-40 m;
- SDO mass 2000 kg, the spacecraft mass 1500 kg;
- EP thrust varied;
- Thrust II 65 mN.

SDO removing was considered within 100 days. For the proposed control algorithm, a range of possible EP thrusts has been obtained, which makes it possible to implement the transport of the SDO from a low orbit. Tracking the exact orientation of the SP to the Sun leads to large values of the second derivative of the change in the roll angle, which requires significant control moments for the orientation of the spacecraft. The simulation results show that the ion-beam removal method is quite effectivefor LEO, taking into account the spacecraft roll rotation to keep the SP orientation to the Sun.

In further studies, it is necessary to use a more rigorous model of the ion beam interaction with SDO.

The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the "Government Assignment", grant FSFF-2020-0014.

References:

1. V.V. Adushkin, O.Y. Aksenov, S.S. Veniaminov, S.I. Kozlov, V.V. Tyurenkova. The small orbital debris population and its impact on space activities and ecological safety. Acta Astronaut., 176 (2020), pp. 591–597. DOI: 10.1016/j.actaastro.2020.01.015.

2. F. Chichoci, M. Merino, E. Ahedo. Spacecraft-plasma-debris interaction in an ion beam shepherd mission. Acta Astronaut., 146 (2018), pp. 216-227. DOI: 10.1016/j.actaastro.2018.02.030.

3. S. Loginov, I. Usovik, M. Yakovlev, V. Obukhov, G. Popov, V. Svotina, Yu. Vilkov, V. Kirillov, V. Popov. Contactless removal of space debris from the defending GEO region. Kosmonavtika i Raketostroenie 5 (98) (2017), pp. 28-36. [in Rus.].

4. V.A. Obukhov, A.I. Pokryshkin, V.V. Svotina. Thruster rotation angle control during contactless removal of space debris objects. Applied Mathematics and Computational Mechanics for Smart Applications. Proceedings of AMMAI 2020, Vol. 217. pp. 127-139.

Интенсификация процесса химического никелирования порошка нитрида бора

[1]Огарёв И.С., [1]Вертен М.А., [1]Дерягин А.О., [2]Хапков О.М.

[1]ООО «Имхотеп», [2]ООО «СТК», г. Рыбинск, Россия

Хоть автокаталитический способ нанесения никеля достаточно изучен, работ, посвященных осаждению Ni-P покрытий на дисперсные материалы, сравнительно мало. Специфика покрываемого материала определяет необходимость в тщательном изучении данного процесса. Несмотря на обилие литературных данных по автокаталитическому осаждению покрытий, четкого представления о процессе никелирования нитрида бора нет, как и представления об оптимальных условиях, составе раствора, подготовительных стадиях.

Поэтому модификация технологии никелирования нитрида бора имеет особую актуальность. Наиболее важными являются: состав раствора никелирования (как качественный, так и количественный) и технология изготовления (режимы перемешивания, температура, способ подачи реагентов).

Данный композиционный материал применяется для повышения характеристик уплотнительных материалов, в частности, для уплотнения деталей газотурбинных двигателей.

В ходе работ был подобран количественный и качественный состав раствора никелирования. Состав раствора следующий: NiCl2, NaH2PO2, NH4OH, NH4Cl. Оптимизированы технологические параметры процесса никелирования. Доказано, что увеличение скорости перемешивания раствора в процессе никелирования улучшает равномерность покрытия нитрида бора слоем никеля и однородность композиционного материала. Адаптированы подготовительные стадии, в частности, процесс активации нитрида бора, что опять же, положительно повлияло на равномерность покрытия. Трудоемкость процесса в результате корректирующих действий стала меньше, общие производственные затраты за счет уменьшения количества циклов никелирования также уменьшились. Был получен композиционный материал НБПН с необходимым содержанием никеля и нитрида бора с минимальным количеством примесей. При явном упрощении процесса материал не потерял свои характеристики.

1. Скопинцев, В.Д. Ресурсо- и энергосберегающие технологии автокаталитического осаждения покрытий на основе сплава никель-фосфор: дисс. доктор техн. наук / Скопинцев Владимир Дмитриевич. – Москва, 2016. – 478 с.

2. Соцкая Н.В., Кравченко Т.А., Рябинина Е.И., и др. Органические стабилизирующие добавки для электролита химического никелирования // Прогрессивная технология и вопросы экологии в гальванотехнике и производстве печатных плат. Сб. материалов Всероссийск. конф.– Пенза: изд-во Приволжского дома знаний, 2000. – С. 29–31.

3. Мигунов, В.П. Истираемоесть и эрозионная стойкость уплотнительных материалов проточной части ГТД / Д. П. Фарафонов, В. П. Мигунов, А. А. Сараев [и др.] // Авиационные материалы и технологии. Научно-технический журнал ВИАМ, 2012, №S.

4. Применяемые и перспективные уплотнительные материалы в изделиях АО «ОДК-Климов». Материалы конференции: XI Всероссийская конференция по испытаниям и исследованиям свойств материалов «ТестМат» по тематике «Физикомеханические испытания, прочность, надежность, высокотемпературные испытания». 1 февраля 2019 г. – Москва, ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, 2019.– С. 465, стр. 439.

5. Хоперия, Т.Н. Химическое никелирование неметаллических материалов / Т.Н. Хоперия. М.: Металлургия.– 1982, 144с.

Intensification of the process of electroless nickel plating of powder boron nitride

[1]Ogarev I.S., [1]Verten M.A., [1]Deryagin A.O., [2]Hapkov O.M.

[1]LLC “Imhotep”, [2]LLC “STK”, Rybinsk, Russia

Although the autocatalytic method of nickel deposition has been sufficiently studied, there are relatively few works devoted to the deposition of Ni-P coatings on dispersed materials. The specificity of the material to be coated determines the need for a thorough study of this process. Despite the abundance of literature data on the autocatalytic deposition of coatings, there is no clear idea about the process of nickel plating of boron nitride, as well as an idea about the optimal conditions, composition of the solution, and preparatory stages.

Therefore, the modification of boron nitride nickel plating technology is of particular relevance. The most important are: the composition of the nickel plating solution (both qualitative and quantitative) and the manufacturing technology (mixing conditions, temperature, method of supplying reagents).

This composite material is used to improve the characteristics of sealing materials, in particular, to seal parts of gas turbine engines.

In the course of the work, the quantitative and qualitative composition of the nickel plating solution was selected. The composition of the solution is as follows: NiCl2, NaH2PO2, NH4OH, NH4Cl. The technological parameters of the nickel plating process have been optimized. It has been proven that an increase in the rate of mixing of the solution during nickel plating improves the uniformity of the coating of boron nitride with a layer of nickel and the uniformity of the composite material. The preparatory stages were adapted, in particular, the process of boron nitride activation, which, again, had a positive effect on the uniformity of the coating. The labor intensity of the process as a result of corrective actions has become less, the total production costs due to the reduction in the number of nickel plating cycles have also decreased. A composite material NBPN was obtained with the required content of nickel and boron nitride with a minimum amount of impurities. With a clear simplification of the process, the material did not lose its characteristics.

1. Skopintsev, V.D. Resource- and energy-saving technologies for autocatalytic deposition of coatings based on nickel-phosphorus alloy: diss....doktor tech. Sciences / Skopintsev Vladimir Dmitrievich. - Moscow, 2016. - 478 p.

2. Sotskaya N.V., Kravchenko T.A., Ryabinina E.I., et al. Organic stabilizing additives for chemical nickel plating electrolyte // Progressive technology and environmental issues in electroplating and printed circuit board production. Sat. Materials All-Russian. Conf. - Penza: publishing house of the Volga House of Knowledge, 2000. - S. 29-31.

3. Migunov, V.P. Abrasion and erosion resistance of sealing materials of the GTE flow path / D. P. Farafonov, V.P. Migunov, A.A. Saraev [et al.] // Aviation materials and technologies. Scientific and technical journal VIAM, 2012, №S.

4. Used and promising sealing materials in the products of JSC "UEC-Klimov". Conference materials: XI All-Russian conference on testing and research of the properties of materials "TestMat" on the topic "Physical-mechanical tests, strength, reliability, high-temperature tests". February 1, 2019 - Moscow, FSUE "VIAM" State Scientific Center of the Russian Federation, 2019. - P. 465, p. 439.

5. Khoperia, T.N. Chemical nickel plating of non-metallic materials / T.N. Khoperia. M.: Metallurgy. - 1982, 144p.

Механические свойства композиционных материалов на основе аморфного металлического сплава

Ошоров А.Д., Кобзарь А.Н.
МИСиС, г. Москва, Россия

Многие композиционные материалы обладают высокими прочностными свойствами и востребованны в авиоционной и космической технике. Удачное сочетание эксплуатационных свойств делает композиционные материалы более выгодными по сравнению с традиционными материалами. Создание и усовершенствование композиционных материалов представляет важность для авиационной промышленности [1].

Аморфные сплавы по сравнение с кристаллическими металлами имеют повышенную устойчивость к коррозии, высокий уровень прочности и твердости, высокий уровень вязкости. Широкое распространение аморфных сплавов ограниченно из-за высокой стоимости получения объемных сплавов. Тогда как аморфные сплавы в виде тонких листов, лент, проволоки и порошка относительно дешевы в производстве [2].

Создание композиционных материалов на основе аморфных сплавов с сохранением их уникальных свойств позволит получить широкое распространение во всех сферах. Сохранение низкого удельного веса и высоких прочностных характеристик композиционных материалов позволит конкурировать им с традиционными материалами в сфере авиастроительства.

В данной работе были разработаны слоистые композиционные материалы на основе аморфной ленты марки 82К3ХСР (химический состав: 83,7% Co + 3,7% Fe + 3,2% Cr + 9,4% Si (вес. %) и легкоплавких сплавов. В результате экспериментального поиска были выбраны легкоплавкие припои, так как аморфные сплавы подвержены кристаллизации при высоких температурах.

Опытным путем были выбраны припои «сплав Вуда» и «ПОСК-50-18». Температура плавления сплава Вуда 68,5°C с химическим составом: 12,5% Sn + 25% Pb + 50% Bi + 12,5% Cd (вес. %). Температура плавления припоя ПОСК-50-18 142°C с химическим составом: 50% Sn + 18% Cd + 32% Pb (вес. %).

Проведены механические испытания на одноосный разрыв на разрывной машине Instron 3365. Экспериментально определены припои, которые обеспечивают оптимальные механические свойства композита.

Литература:

1. Ushakov I.V., Oshorov, A.D. Viscosity of microdestruction of multilayer composite and method of its revealing // Materials Science Forum. 2022. 1052. MSF. P. 110-115. doi:10.4028/p-5q4060.

2. Исследование радиотехнических параметров порошков аморфного магнитомягкого сплава AMAG-200 / П. А. Кузнецов, М. В. Старицын, Е. А. Самоделкин, В. Н. Климов // Физика металлов и металловедение. – 2018. – Т. 119. – № 5. – С. 459-464. – DOI 10.7868/S0015323018050042.

Mechanical properties of composite materials based on amorphous metallic alloy

Oshorov A.D., Kobzar A.N.
MISiS, Moscow, Russia

Many composite materials have high strength properties and are in demand in aviation and space technology. A successful combination of performance properties makes composite materials more advantageous than traditional materials. The creation and improvement of composite materials is important for the aviation industry [1].

Amorphous alloys, in comparison with crystalline metals, have an increased resistance to corrosion, a high level of strength and hardness, and a high level of toughness. Widespread use of amorphous alloys is limited due to the high cost of obtaining bulk alloys. Whereas amorphous alloys in the form of thin sheets, strips, wire and powder are relatively cheap to manufacture [2].

The creation of composite materials based on amorphous alloys with the preservation of their unique properties will allow them to be widely used in all areas. Maintaining a low specific gravity and high strength characteristics of composite materials will allow them to compete with traditional materials in the field of aircraft construction.

In this work, layered composite materials based on an 82K3KhSR amorphous tape (chemical composition: 83.7% Co + 3.7% Fe + 3.2% Cr + 9.4% Si (wt. %) and low-melting alloys) were developed. As a result of the experimental search, low-melting solders were chosen, since amorphous alloys are subject to crystallization at high temperatures.

Solders "Wood's alloy" and "POSK-50-18" were selected empirically. The melting point of Wood's alloy is 68.5°C with the chemical composition: 12.5% Sn + 25% Pb + 50% Bi + 12.5% Cd (wt.%). The melting temperature of solder POSK-50-18 is 142°C with the chemical composition: 50% Sn + 18% Cd + 32% Pb (wt %).

Mechanical tests for uniaxial rupture were carried out on an Instron 3365 tensile testing machine. Solders were experimentally determined that provide optimal mechanical properties of the composite.

References:

1. Ushakov I.V., Oshorov, A.D. Viscosity of microdestruction of multilayer composite and method of its revealing // Materials Science Forum. 2022. 1052. MSF. P. 110-115. doi:10.4028/p-5q4060

2. P.A. Kuznetsov, M.V. Staritsyn, E.A. Samodelkin, and V.N. Klimov, P.A. Kuznetsov, V.N., Research of the radiotechnical parameters of powders of the amorphous magnetically soft alloy AMAG-200, Fizika Metallov i Metallovedenie. - 2018. - T. 119. - No. 5. - S. 459-464. – DOI 10.7868/S0015323018050042.

Методика определения напряженного состояния в деталях ЛА фрактографически-расчетным способом

Пахомов Н.А., Артамонов М.А., Говоров А.А., Немцев Д.В., Терешко А.Г.
ОКБ им. А.Люльки, г. Москва, Россия

Усталостное разрушение является одним из наиболее распространенных видов разрушения в летательных аппаратах. В усталостном разрушении выделяют два этапа – зарождение и рост усталостной трещины до критической длины с окончательным статическим разрушением. В случае реализации данного вида разрушения необходимо понимать, каким динамическим нагрузкам подвергалась деталь. Для решения поставленной задачи была разработана методика определения напряженного состояния в разрушенной детали – анализ излома трещины методом растровой электронной микроскопии и численного метода моделирования динамического состояния.

Фрактографический анализ излома разрушенной детали осуществляется при помощи растрового электронного микроскопа. Рост усталостной трещины можно разделить на три стадии. На второй стадии формируются усталостные бороздки, их размер (шаг) соответствует продвижению трещины за один цикл нагружения (скорость роста трещины). Существуют несколько уравнений, а также их вариаций, которые связывают скорость роста трещины усталости для второй стадии роста с таким параметром как коэффициент интенсивности напряжений (КИН).

Численный метод по определению КИН был реализован в программном комплексе ANSYS. Создается серия конечно-элементных моделей (КЭМ) детали с внедренной трещиной, по мере ее роста. После чего решается обратная задача – определить действующую нагрузку, при которой значение КИН, полученного фрактографическим способом, будет соответствовать КИН полученному в модели. Чтобы определить напряженное состояние детали, создается КЭМ без трещины и нагружается в соответствии с найденными нагрузками.

Для верификации представленной методики и установления оптимальной формулы расчета КИН, были проведены испытания на вибрационном стенде рабочей лопатки первой ступени КНД, изготовленной из двухфазного титанового сплава ВТ6. Определено уравнение, связывающее значение скорости роста трещины и КИН, дающее наименьшее отклонение, при

сравнении величины напряжения, полученного при моделировании со значением тензодатчика на лопатке.

A method for determining stress state in aircraft parts using a fractographic-calculation technique

Pakhomov N.A., Artamonov M.A., Govorov A.A., Nemtsev D.V., Tereshko A.G.
A. Lyulka Design Bureau, Moscow, Russia

Fatigue failure is one of the most common types of failure in aircraft. In fatigue failure, two stages are distinguished - the initiation and growth of a fatigue crack to a critical length with final static failure. In the case of this type of destruction, it is necessary to understand what dynamic loads the part was subjected to. To solve the problem, a method was developed for determining the stress state in a fractured part – crack fracture analysis by scanning electron microscopy and a numerical method for modeling the dynamic state.

Fractographic analysis of the fracture of the destroyed part is carried out using a scanning electron microscope. Fatigue crack growth can be divided into three stages. At the second stage, fatigue grooves are formed, their size (pitch) corresponds to the crack propagation in one loading cycle (crack growth rate). There are several equations, as well as their variations, that relate the fatigue crack growth rate for the second stage of growth with such a parameter as the stress intensity factor (SIF).

The numerical method for determining the oil recovery factor was implemented in the ANSYS software package. A series of finite element models (FEM) of a part with an embedded crack is created as it grows. After that, the inverse problem is solved - to determine the actual load at which the value of the oil recovery factor obtained by the fractographic method will correspond to the oil recovery factor obtained in the model. To determine the stress state of the part, a FEM without a crack is created and loaded in accordance with the loads found.

To verify the presented methodology and establish the optimal formula for calculating the oil recovery factor, tests were carried out on a vibration stand for the working blade of the first stage of the LPC, made of two-phase titanium alloy VT6. An equation is determined that relates the value of the crack growth rate and the recovery factor, which gives the smallest deviation, when comparing the stress value obtained in the simulation with the value of the load cell on the blade.

Анализ частотного взаимодействия турбинного блока в составе стенда на величину расхождения ожидаемой и измеренной мощности турбины

Петрова Е.Н., Сальников А.Ф., Бочкарев С.В., Губин Б.Д.
ПНИПУ, г. Пермь, Россия

В работе описан алгоритм построения динамического анализа влияния волнового поля стенда и условий частотного взаимодействия его элементной базы на измерение величины момента турбины. Показано, что, используя алгоритм модального анализа элементной базы стенда и условий динамического возбуждения колебаний системы измерения момента вращения и ее мощности, можно с определенной достоверностью строить не только диагностическую модель по определению технического состояния элементов стенда, но и определить причины возникновения расхождений между расчетными значениями мощности турбины (ожидаемыми) и измеренными системой измерения крутящего момента и числа оборотов турбины.

Разработан частотный анализ при разделении взаимовлияний элементной базы стенда на примере проставки (измерительный блок) и приведены результаты пересчета влияния на результаты измерений мощности турбины на стационарных и переходных режимах (изменение числа оборотов турбины). Для уточнения коэффициентов жесткости между элементами стенда был применен модальный анализ, позволивший получить диапазон их изменений в зависимости от внешней динамической нагрузки, что позволило провести оценку уточнения влияния изменений условий частотного взаимодействия на показатели измерения мощности турбины на различных режимах ее испытаний.

Получены условия усиления амплитуды колебаний на собственных (модальных) частотах и рассчитано значение возможного расхождения измеряемых результатов мощности с

расчетными (ожидаемыми) при измерении мощности для конкретных режимов (циклов) работы турбины. Показано, что учет частотного взаимодействия между модальными и оборотными частотами элементов измерения мощности уменьшает величину расхождения измерения мощности с 15% во всем диапазоне исследуемых чисел оборотов турбины до приемлемого значения не более 3%.

Разработанный математический алгоритм позволяет провести оценку динамического состояния стенда на разных режимах исследования турбин и дать рекомендации для уменьшения уровня частотного взаимодействия.

Analysis of the frequency interaction of the turbine unit as part of the stand on the magnitude of the difference between the expected and measured turbine power

Petrova E.N.
PNRPU, Perm, Russia

The paper describes an algorithm for constructing a dynamic analysis of the influence of the bench wave field and the frequency interaction conditions of its element base on the measurement of the turbine torque value. It is shown that using the algorithm of modal analysis of the bench element base and conditions of dynamic excitation of oscillations of the torque measuring system and its power. With a certain accuracy it is possible to build not only a diagnostic model for determining the technical condition of the bench elements, but also to determine the reasons for differences between the calculated values of turbine power (expected) and the measured torque measuring system and the turbine RPM.

A frequency analysis during the separation of mutual influences of the bench element base on the example of the spacer (measuring unit) was developed, and results of recalculation of the influence on the results of turbine power measurements at steady-state and transient modes (change of turbine speed) were given. A frequency analysis during the separation of mutual influences of the bench element base on the example of the spacer (measuring unit) is developed, and the results of recalculation of the influence on the results of turbine power measurements at steady-state and transient modes (change in the turbine RPM) are given.

The conditions of amplitude amplification of oscillations at natural (modal) frequencies are obtained, and the value of possible difference between the measured power results and the calculated (expected) ones when measuring power for specific modes (cycles) of turbine operation is calculated. It is shown that taking into account the frequency interaction between the modal and RPM frequencies of the power measurement elements reduces the power measurement difference from 15% over the entire range of turbine RPMs under study to an acceptable value of no more than 3%.

The developed mathematical algorithm makes it possible to evaluate the dynamic state of the bench at different modes of turbine research and to give recommendations for decreasing the level of frequency interaction.

Численное моделирование процесса эрозии твердыми частицами на базе метода явного динамического анализа

Пожидаев А.А., Кожевников Г.Д., Токачев Д.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Эксплуатация воздушно реактивных двигателей и обеспечения необходимого ресурса в сложных климатических условиях, в т.ч. при высокой запыленности, является важными направлением исследований, связанных с технической эксплуатацией летательных аппаратов. В таких условиях зачастую в тракт двигателя вместе с воздухом попадают разнообразные частицы пыли и песка. Наличие мелких частиц в потоке может повлечь за собой возникновение одного из механизмов разрушения – эрозии твердыми частицами, что повлечет за собой снижение эксплуатационного ресурса и ухудшение основных характеристик двигателя.

К настоящему времени история исследования проблемы эрозионного износа насчитывает несколько десятилетий. В литературе чаще всего встречается два основных подхода к моделированию процесса эрозии: на базе методов вычислительной гидрогазодинамики (CFD)

и на базе метода конечных элементов (FEM). Первый подход позволяет учитывать геометрию и рабочие условия исследуемой детали, применяя аналитические и полуэмпирические зависимости, имеющие настроечные коэффициенты, сужающие область применения, для оценки скорости эрозионного износа. Методы, основанные на базе явной динамики, дают возможность учитывать структуру материала, получать данные о напряжениях и деформациях после взаимодействия частица/поверхность образца, что может быть использовано для анализа длительной стойкости материала к воздействию эродента.

В данной работе производится численное моделирование процесса эрозии образца из сплава ВТ6 твердыми частицами песка SiO2 на базе экспериментальных исследований. Моделирование производится с помощью метода конечных элементов на основе алгоритма явного динамического анализа (Explicit FEM), реализованного в программном комплексе ANSYS LS-DYNA. Исследовано влияние размеров частиц, скорости частиц, а также углов падения на скорость эрозионного износа образца. В работе использовалась модель материала и модель разрушения Джонсона-Кука для титанового сплава ВТ6.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, тема №FSFF2020-0014.

1. Строкач Е.А., Кожевников Г.Д., Пожидаев А.А., Численное моделирование эрозионного износа твёрдыми частицами в газовом потоке. // 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 23-27 ноября 2020 года. Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2020. – 980 с.

2. Mansouri, A. A combined CFD-experimental method for developing an erosion equation for both gas-sand and liquid-sand flows. Department of Mechanical Engineering, The University of Tulsa, 2016.

3. Farokhipour, Z. Mansoori, M. Saffar-Avval, G. Ahmadi, Numerical modeling of sand particle erosion at return bends in gas-particle two-phase flow, Scientia Iranica, 25 (2018) 3231-3242.

4. Khoddami A. S., Salimi-Majd D., Mohammadi B. Finite element and experimental investigation of multiple solid particle erosion on Ti-6Al-4V titanium alloy coated by multilayer wear-resistant coating //Surface and Coatings Technology. – 2019. – Т. 372. – С. 173-189.

5. Balu P. et al. Finite element modeling of solid particle erosion in AISI 4140 steel and nickel–tungsten carbide composite material produced by the laser-based powder deposition process //Tribology International. – 2013. – Т. 62. – С. 18-28.

Numerical simulation of the erosion process by solid particles based on the method of explicit dynamic analysis

Pozhidaev A.A., Kozhevnikov G.D., Tokachev D.A.
MAI, Moscow, Russia

Exploitation of air jet engines and ensuring the necessary resource in difficult climatic conditions, incl. at high dust content, is an important area of research in the technical operation of aircraft. A variety of dust and sand particles often enter the engine tract along with air in such conditions. The presence of small particles in the flow can lead to the occurrence of one of the failure mechanisms, called solid particles erosion, which leads to a decrease in the operational life and deterioration of the main characteristics of the engine.

The history of the study of the problem of erosive wear dates back several decades to the present time. Two main approaches to modeling the erosion process are most often found in the literature: based on computational fluid dynamics (CFD) methods and based on the finite element method (FEM). The first approach considers the actual geometry and operating conditions of the part under study, using analytical and semi-empirical dependencies with tuning coefficients that reduce the scope of application for estimating the rate of erosive wear. Methods based on explicit dynamics, consider the structure of the material, obtain data on stresses and deformations after the particle/surface of the sample interaction, which can be used to analyze the long-term resistance of the material to the effects of erodent.

This paper describes a numerical simulation of the erosion process of a VT6 alloy sample by SiO2 sand particles based on experimental studies. Modeling is performed using the finite element method

based on the explicit dynamic analysis algorithm (Explicit FEM) implemented in the ANSYS LS-DYNA software. The influence of particle sizes, particle velocity, and angles of impact on the rate of erosive wear of the sample is investigated. The Johnson-Cook material and failure model for the VT6 titanium alloy is used in the simulation.

The work was performed as part of the State task of the Ministry of education and science of the Russian Federation, topic №FSFF-2020-001

1. Строкач Е.А., Кожевников Г.Д., Пожидаев А.А., Численное моделирование эрозионного износа твёрдыми частицами в газовом потоке. // 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 23-27 ноября 2020 года. Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2020. – 980 с.

2. Mansouri, A. A combined CFD-experimental method for developing an erosion equation for both gas-sand and liquid-sand flows. Department of Mechanical Engineering, The University of Tulsa, 2016.

3. Farokhipour, Z. Mansoori, M. Saffar-Avval, G. Ahmadi, Numerical modeling of sand particle erosion at return bends in gas-particle two-phase flow, Scientia Iranica, 25 (2018) 3231-3242.

4. Khoddami A. S., Salimi-Majd D., Mohammadi B. Finite element and experimental investigation of multiple solid particle erosion on Ti-6Al-4V titanium alloy coated by multilayer wear-resistant coating //Surface and Coatings Technology. – 2019. – Т. 372. – С. 173-189.

5. Balu P. et al. Finite element modeling of solid particle erosion in AISI 4140 steel and nickel–tungsten carbide composite material produced by the laser-based powder deposition process //Tribology International. – 2013. – Т. 62. – С. 18-28.

Проектирование сопловых лопаток газовых турбин для измерения параметров потока за камерой сгорания ГТД

Попов Д.А., Сендюрев С.И.

АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, Россия

Современный газотурбинный двигатель (ГТД) должен отвечать требованиям надёжности и топливной экономичности. Взаимная увязка этих требований является сложной задачей, требующей высокого уровня математического моделирования и качества проведения испытаний [1].

Конструкция системы охлаждения соплового аппарата турбины высокого давления (ТВД) должна обеспечивать его работоспособность во всём диапазоне режимов работы, возможность регулирования параметров охлаждения и технологичность производства [2].

Литые сопловые лопатки имеют ограничение по сложности получаемой геометрии. Дефлекторная конструкция сопловых лопаток позволяет перераспределять охлаждающий воздух внутри лопатки за счёт изменения только дефлекторов. Однако из-за неплотного прилегания дефлектора могут появляться утечки воздуха, для устранения которых необходимо создавать дополнительные элементы (штырьки, пазы) или применять дополнительные операции (пайка), что уменьшает технологичность конечного изделия.

Классический способ измерения параметров перед ТВД заключается в установке датчиков на профиле в диффузоры из фольги, проводники при этом выводятся снаружи и прикрываются фольговыми накладками. Данный способ обладает рядом недостатков: нарушение системы охлаждения, нерасчётное обтекание профиля, получение некорректных данных с датчиков. К тому же фольговые элементы достаточно быстро обгорают и разрушаются. Процесс установки датчиков на лопатки выполняется вручную, поэтому является трудоёмким и не исключает ошибок со стороны человека.

Предложенный способ заключается в том, чтобы спроектировать лопатку с диффузорами на входной кромке профиля под установку датчиков и внутренними каналами под вывод проводников, при этом обеспечить оптимальное тепловое состояние и расчётное обтекание профиля. Ожидается, что получаемая аддитивным методом конструкция лопатки позволит избавиться от вышеперечисленных недостатков, что особенно важно при доводке и испытаниях ГТД [3].

На основании трёхмерного газодинамического сопряжённого моделирования спроектированы сопловые лопатки с диффузорами на входной кромке под установку термопар и/или приёмников давления и внутренними полостями сложной геометрической формы для изготовления аддитивным способом. Таким образом, упрощён процесс установки датчиков на лопатки для измерения параметров перед узлом ТВД.

Проведены испытания полноразмерного газогенератора с измерением параметров на входе в ТВД при помощи изготовленных лопаток. По результатам испытаний, которые имеют высокую степень совпадения с численным моделированием, можно заключить, что использованные аддитивные лопатки показали свою работоспособность и могут быть использованы в опытных конструкциях ГТД.

Получен патент на изобретение №2767580C1, заявка №2021134909 от 29.11.2021.

Литература:

1. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок: учеб. / Иноземцев А.А., Нихамкин М.А., Сандрацкий В.Л.–М.: Машиностроение, 2008. –Т.1. –С.58-59; ил.

2. Современные системы охлаждения сопловых лопаток высоконагруженных газовых турбин / Сендюрев С.И., Тихонов А.С., Самохвалов Н.Ю. и др. / Вестник ПНИПУ. Аэрокосм. техника. –2015. –№ 42. –С.34-46

3. Перспективы применения аддитивных технологий для создания деталей и узлов авиационных газотурбинных двигателей и прямоточных воздушно-реактивных двигателей / Магеррамова Л.А., Ножницкий Ю.А., Волков С.А. и др. / Вестник Самар. ун-та. Аэрокосм. техника, технологии и машиностроение. –2019. –№ 3 . –С.81-98

Design of gas turbines NGV blades for measuring flow parameters behind the combustion chamber of gas turbine engine

Popov D.A., Sendyurev S.I.

JSC “UEC-Avidvigatel”, Perm, Russia

A modern gas turbine engine (GTE) must satisfy the requirements of reliability and fuel efficiency. The interconnection of these requirements is a complex task that requires a high level of mathematical modeling and the quality of testing [1].

The design of the cooling system of the high pressure turbines (HPT) nozzle guide vane (NGV) blade should ensure operability in the full range of operating modes, ability to configure cooling parameters and the manufacturability of production [2].

NGV blades, which obtained by casting, have a limitation on the complexity of the resulting geometry. Baffle inserts of NGV blades allows redistributing the coolant inside the airfoil. However, due to the loose fit of the baffle inserts, coolant leaks may appear, to eliminate which it is necessary to create additional elements (pins, grooves) or apply additional operations (soldering), which reduces the final product manufacturability.

The classic way to measure the parameters before the HPT is to install sensors on the airfoil in foil diffusers, while the conductors are removed from the outside and covered with foil pads. This method has a number of flaws: violation of the cooling system and airfoil flow, incorrect data from sensors. In addition, foil elements quickly burn and destruction. The process of installing sensors on the airfoil is performed manually, therefore it is time-consuming and does not exclude human errors.

The proposed method consists in designing a NGV blade with diffusers on the leading edge of the profile for the installation of sensors and internal channels for the output of conductors, while ensuring optimal thermal condition and correct flow field around the profile. It is expected, that new NGV blade obtained by the additive method will get rid of the above flaws, which is especially important when fine-tuning and testing of GTE [3].

NGV blades with diffusers on the leading edge for the installation of thermocouples and/or pressure receivers and complex geometric shape internal cavities for additive manufacturing are designed using three-dimensional computational fluid dynamic with heat transfer. Thus, the process of installing sensors on the airfoils to measure parameters before the HPT is simplified.

Tests of a full-size core with the measurement of parameters before HPT using manufactured nozzle guides were carried out. The test results are in good agreement with numerical modeling, additive nozzle guides have shown their efficiency and can be used in experimental designs of GTE.

The patent was obtained for invention No. 2767580C1, application No. 2021134909 dated 11/29/2021.

References:

1. Inozemtsev A.A., Nihamkin M.A., Sandratsky V.L. Osnovy konstruirovaniya aviacionnyh dvigatelej i energeticheskih ustanovok: ucheb. [Fundamentals of the design of aircraft engines and power plants: textbook] /–M.: Mashinostroenie, 2008. –Vol.1. –pp.58-59

2. Sendyurev S.I., Tikhonov A.S., Samokhvalov N.Yu. etc. Modern cooling systems of nozzle blades of high-loaded gas turbines / Bulletin of PNRPU. Aerospace engineering. –2015. –No. 42. –pp.34-46

3. Magerramova L.A., Scissor Yu.A., Volkov S.A. etc. Perspectives for the application of additive technologies for the creation of parts and assemblies of aviation gas turbine engines and ramjet engines / / Bulletin of Samara University. Aerospace engineering, technology and mechanical engineering. –2019. –No. 3. –pp.81-98.

Регистрация основных эмиссионных параметров источников заряженных частиц для ракетных космических ионных двигателей и энергетических установок мегаваттного уровня

Попов Е.О., Филиппов С.В., Колосько А.Г.
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия

Сейчас мы являемся свидетелями начала второго этапа экспансии человека в Космос – работы над проектами пилотируемых полётов к планетам Солнечной системы. Основной технической проблемой является разработка двигателя для быстрых и дальних космических перелётов. В основе электроракетного двигателя (ЭРД) лежит принцип разделения источника энергии и рабочего вещества, которое создаёт тягу. Для работы ионного ЭРД необходимо большое количество электроэнергии. В России разрабатывается ядерная ЭРД установка (ЯЭРДУ) мегаваттного класса, которая будет питать межорбитальный буксир – транспортно-энергетический модуль. Для реализации данного проекта, необходимо увеличение ресурса ЭРД, включая разработку новых надёжных источников свободных электронов с высокими токами эмиссии для нейтрализации заряда, а также создание компактных высокотемпературных энергетических установок мегаваттного уровня, в том числе, основанных на новых принципах прямого термоэмиссионного преобразования тепловой энергии ядерных установок непосредственно в энергию переменного тока [1].

В ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН была разработана методика и экспериментальные установки для регистрации основных эмиссионных параметров полевых и термополевых источников свободных электронов и проведения ресурсных исследований эмиттеров большой площади (large area field emitter – LAFE) [2]. Методика базируется на трёх основных принципах. Первый принцип – многоканальный сбор данных. Регистрируются как вольт-амперные характеристики, так и данные о сопровождающих эмиссию процессах, в том числе масс-спектрометрические данные о составе летучих продуктов. Второй принцип – применение сканирования высоким напряжением в различных режимах питания, что позволяет набрать статистический материал, дающий надёжную оценку основных эмиссионных параметров. Третий принцип – это исследование эмиссионного процесса в режиме реального времени, путём программного управления, регистрации и одновременной обработки данных эксперимента.

[1] Кузнецов В.И., Бабанин В.И., Пащина А.С. Экспериментальные исследования бессеточного сильноточного модулятора на основе термоэмиссионного диода для космических систем преобразования тока // КТТ. 2017. №. 1 (16). С. 103-113.

[2] Popov E.O., Kolosko A.G., Filippov S.V., Terukov E.I., Ryazanov R.M., Kitsyuk E.P. Comparison of macroscopic and microscopic emission characteristics of large area field emitters based on carbon nanotubes and graphene //JVSTB. 2020. Т. 38. №. 4. p. 043203.

Registration of the main emission parameters of charged particles sources for rocket space ion engines and megawatt-level power plants

Popov E.O., Filippov S.V., Kolosko A.G.
Ioffe Institute, Saint-Peterspurg, Russia

Now we are witnessing the beginning of the second stage of human expansion into Space - work on projects for manned flights to the planets of the Solar system. The main technical problem is the development of an engine for fast and long-range space flights. The electric rocket engine (ERE) is based on the principle of separating the source of energy and the working substance that creates thrust. For the operation of an ion electric propulsion engine, a large amount of electricity is needed. Russia is developing a megawatt-class nuclear electric propulsion system (NEPS), which will power the interorbital tug – the transport and energy module. To implement this project, it is necessary to increase the resource of the electric propulsion engine, including the development of new reliable sources of free electrons with high emission currents for charge neutralization, as well as the creation of compact high-temperature power plants of the megawatt level, including those based on new principles of direct thermionic conversion of thermal energy from nuclear installations directly into AC energy [1].

In Ioffe Institute RAS developed a technique and experimental setups for recording the main emission parameters of field and thermal field sources of free electrons and carrying out resource studies of large area emitters (large area field emitter – LAFE) [2]. The methodology is based on three main principles. The first principle is multichannel data collection. Both current-voltage characteristics and data on the processes accompanying emission are recorded, including mass-spectrometric data on the composition of volatile products. The second principle is the use of high-voltage scanning in various power modes, which makes it possible to collect statistical material that gives a reliable estimate of the main emission parameters. The third principle is the study of the emission process in real time, through program control, registration and simultaneous processing of experimental data.

[1] Kuznetsov V.I., Babanin V.I., Pashchina A.S. Experimental studies of thermionic diode-based Gridless high-current modulator for space current conversion systems тока // STT. 2017. №. 1 (16). P. 103-113.

[2] Popov E.O., Kolosko A.G., Filippov S.V., Terukov E.I., Ryazanov R.M., Kitsyuk E.P. Comparison of macroscopic and microscopic emission characteristics of large area field emitters based on carbon nanotubes and graphene //JVSTB. 2020. T. 38. №. 4. p. 043203.

Воздействие вулканического пепла на авиационные газотурбинные двигатели

Попова Д.Д.
АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, Россия

Вулканический пепел обладает чрезвычайно абразивными свойствами и может нанести урон поверхностям самолета, турбореактивным двигателям и другим системам летательного аппарата. За период с 1935 года определено 156 инцидентов столкновения с пеплом. В 10 полетах наблюдались выключения двигателей, в 4 из этих случаев зарегистрировано выключение всех двигателей. Практически все случаи выключения двигателей произошли с дальнемагистральными самолетами, такими как Boeing 747 и DC-10 [1, 2, 3, 4].

Основными проявлениями воздействия вулканического пепла на элементы ГТД являются эрозионно-абразивные повреждения элементов ГТД, засорение топливных форсунок, аккумуляция отложений пеплового материала на элементах камеры сгорания и лопатках турбины и т.д.

Особо опасным воздействием являются отложения пеплового материала, уменьшающие площадь проходного сечения, так как достижение критической скорости течения при меньших проходных сечениях в межлопаточных каналах первого соплового аппарата приводит к дросселированию расхода воздуха через двигатель, и, как следствие, снижению запаса устойчивой работы компрессора, непрекращающимся помпажам и потере тяги двигателя [3, 4].

При сертификационных испытаниях перспективного двигателя разработки АО «ОДК-Авиадвигатель» были выявлены отложения вулканического пепла, при этом попадание пепла в двигатель с максимально допустимой в Европе концентрацией 4 мг/м3 в течение одного часа не приводит к изменению тяговых характеристик перспективного двигателя и возникновению нежелательных последствий [4, 5].

Определена область генерации жидкой фазы вулканического пепла в газовоздушном тракте двигателя (рассчитывалась в коммерческом газодинамическом пакете). Определение подобных областей генерации является первичным этапом при создании математической модели воздействия вулканического пепла на авиационный газотурбинный двигатель.

Основной задачей научных диссертационных исследований является создание математической модели аккумуляции отложений пеплового материала на элементах камеры сгорания и лопатках турбины высокого давления. Основными критериями, определяющими налипание частицы, приняты вязкость частицы в заданном поле температур, температура вблизи стенки, скорость частицы. Для дальнейшего уточнения и верификации данная модель требует всестороннего рассмотрения факторов с точки зрения геохимии, физики процессов и авиадвигателестроения, а также является направлением для актуальных дальнейших исследований в данной области.

Литература:

1. Руководство по облакам вулканического пепла, радиоактивных материалов и токсических химических веществ// International Civil Aviation Organization, издание третье, 2015. – 210 с.

2. Clarkson R. Volcanic Ash Impacts on Jet Engines and Developments since 2010. – Rolls-Royce (Aero Engines), 29th January 2019. – 23 p.

3. Przedpelski Z., Casadevall Th. Impact of Volcanic Ash from 15 December 1989 Redoubt Volcano Eruption on GE CF6-80C2 Turbofan Engines// Proceedings of the First International Symposium on Volcanic

4. Иноземцев А.А., Попова Д.Д. Исследование устойчивости авиационного двигателя ПД-14 к воздействию вулканического пепла/ Иноземцев А.А. и др. // Вестник УГАТУ, Том 26 №2 (96), 2022.

5. Павлецов И.С., Галлямов М.Д. Газогенератор двигателя ПД-14 успешно прошел испытания вулканическим пеплом/ Павлецов И.С и др.// Информационно-технический бюллетень Пермские авиационные двигатели, 2021, №48. С. 30-33

Volcanic ash impact on aircraft gas turbine engines

Popova D.D.

JSC “UEC-Aviadvigatel”, Perm, Russia

Volcanic ash is extremely abrasive and can damage aircraft surfaces, turbojet engines and other aircraft systems. 156 ash incidents have been identified since 1935. In 10 flights, engine shutdowns were observed, in 4 of these cases, all engine shutdowns were recorded. Almost all of these cases occurred with long-haul aircraft [1, 2, 3, 4].

The main manifestations of the volcanic ash impact on GTE elements are erosive-abrasive damage to GTE elements, fuel injectors clogging, ash deposits accumulation on the elements of the combustion chamber and turbine blades, etc.

A particularly dangerous effect is the ash material deposits, which reduce the area of the passage section. Since the achievement of a critical flow velocity at smaller passage sections in the interblade channels of the first nozzle guide vanes leads to throttling of the air flow through the engine, and, as a result, a decrease in the margin of stable operation of the compressor, and continuous surges and loss of engine thrust [3, 4].

Volcanic ash deposits were revealed, while the ingress of ash into the engine with the maximum permissible concentration in Europe of 4 mg/m3 for one hour does not lead to a change in the traction characteristics of the engine and the undesirable consequences occurrence [4, 5].

The area of volcanic ash liquid phase generation in the gas-air path of engine was determined (calculated in a commercial gas-dynamic package). Determining such generation areas is the primary step in creating a mathematical model of the impact of volcanic ash on an aircraft gas turbine engine.

The main objective of scientific dissertation research is the creation of a mathematical model of the ash material deposits accumulation on the elements of the combustion chamber and high-pressure turbine blades. The main criteria determining particle sticking are the particle viscosity in a given temperature field, the temperature near the wall, and the particle velocity. For further verification, this model requires a comprehensive consideration of factors from the point of view of geochemistry, physics of processes and aircraft engine design, and is a direction for relevant further research in this area.

1. Manual on Volcanic Ash,Radioactive Material and Toxic Chemical Clouds// International Civil Aviation Organization, Third edition, 2015. – 210 p.

2. Clarkson R. Volcanic Ash Impacts on Jet Engines and Developments since 2010. – Rolls-Royce (Aero Engines), 29th January 2019. – 23 p.

3. Przedpelski Z., Casadevall Th. Impact of Volcanic Ash from 15 December 1989 Redoubt Volcano Eruption on GE CF6-80C2 Turbofan Engines// Proceedings of the First International Symposium on Volcanic

4. Inozemcev A.A., Popova D.D. Issledovanie ustojchivosti aviacionnogo dvigatelya PD-14 k vozdejstviyu vulkanicheskogo pepla/ Inozemcev A.A. et al.// Vestnik UGATU, 26 №2 (96), 2022.

5. Pavlecov I.S., Gallyamov M.D. Gazogenerator dvigatelya PD-14 uspeshno proshel ispytaniya vulkanicheskim peplom/ Pavlecov I.S et al.// Informacionno-tekhnicheskij byulleten' Permskie aviacionnye dvigateli, 2021, №48. pp.30-33

Расчёт и анализ трёх схем системы подвода охлаждающего воздуха к рабочей лопатке турбины высокого давления высокотемпературного газотурбинного двигателя

[1]Рейман А.В., [2]Стародумов А.В., [2]Стародумова И.М.

[1]МАИ, [2]ОКБ им. А. Люльки, г. Москва, Россия

В настоящее время создание перспективных газотурбинных двигателей может быть обеспечено повышением температуры газа на входе в турбину. Однако повышение температуры газа ограничивается жаропрочностью материалов, из которых сделаны рабочие лопатки. Таким образом, существует необходимость в создании перспективной системы охлаждения рабочей лопатки турбины высокого давления. В работе рассматриваются три схемы подвода охлаждающего воздуха к рабочей лопатке турбины высокого давления: открытая схема с использованием безлопаточного диффузора, напорная схема с использованием безлопаточного диффузора и напорная схема без использования безлопаточного диффузора. В конструкции каждой схемы применен аппарат спутной закрутки, предназначенный для подачи и охлаждения воздуха, идущего к рабочим лопаткам. В связи с этим были изучены результаты эксперимента, в котором были исследованы несколько типов аппарата закрутки в сочетании с рядом приемных устройств, размещенных на рабочем колесе. В работе представлены конструктивные схемы, а также выполнены гидравлический и проектировочные расчёты каждой из схем. Гидравлический расчёт проведен с помощью специальной программы, а также представлена математическая модель системы. Проектировочный расчет выполнен на основе изученных экспериментальных данных. В заключение представлен анализ достоинств и недостатков каждой из схем, а также сделаны выводы о применимости рассмотренных схем на практике. В связи с проведенными расчётами и анализом было выявлено, что преимущество имеет открытая схема с использованием безлопаточного диффузора и напорная схема без использования безлопаточного диффузора с установкой аппарата закрутки на более высокий радиус и использованием лабиринтных уплотнений. Эти две схемы применимы на практике.

Calculation and analysis of three schemes of the system for supplying cooling air to the working blade of a high-pressure turbine of a high-temperature gas turbine engine

[1]Reyman A.V., [2]Starodumov A.V., [2]Starodumova I.M.

[1]MAI, [2]A. Lyulka Design Bureau, Moscow, Russia

At present, the creation of promising gas turbine engines can be ensured by increasing the gas temperature at the turbine inlet. However, the increase in gas temperature is limited by the heat

resistance of the materials from which the rotor blades are made. Thus, there is a need to create a promising system for cooling the rotor blade of a high-pressure turbine. Three schemes for supplying cooling air to the rotor blade of a high-pressure turbine are considered in this paper: diffuser, a pressure circuit using a vaneless diffuser and a pressure circuit without using a vaneless diffuser. In the design of each circuit, a winding device is used to supply and cool the air going to the rotor blades. In this regard, the results of the experiment were studied, in which the several types of spinning apparatus in combination with a number of receivers placed on the impeller. The paper presents structural schemes, as well as hydraulic and design calculations for each of the schemes. Hydraulic calculation was carried out using a special program, and a mathematical model of the system is also presented. The design calculation was made on the basis of the studied experimental data. In conclusion, an analysis of the advantages and disadvantages of each of the schemes is presented, and conclusions are drawn about the applicability of the considered schemes in practice. In connection with the calculations and analysis, it was found that an open circuit using a vaneless diffuser and a pressure circuit without using a vaneless diffuser with the installation of a swirl apparatus to a higher radius and the use of labyrinth seals have an advantage. These two schemes are applicable in practice.

Особенности характеристик аэродинамически короткой кольцевой турбинной решетки, состоящей из лопаток различного профиля

Ремизов И.А., Вятков В.В.
РГАТУ им. П.А. Соловьёва, г. Рыбинск, Россия

В конструкции двухвальных газотурбинных двигателей различного назначения применяется конструктивное решение в виде совмещенного стоечного узла турбины низкого давления. При этом решетка соплового аппарата формируется из профилей различной толщины. Для формирования силовых стоек необходимо увеличение хорды соплового аппарата, что приводит к смыканию вторичных течений в межлопаточном канале. Т.е. при размерности газогенератора, характерной для перспективных ГТД, сопловой аппарат турбины низкого давления становится аэродинамически коротким. Результаты исследования таких решеток в открытой печати отсутствуют, что определяет актуальность исследований в данном направлении.

По результатам численного и экспериментального исследования кольцевой решетки профилей различной геометрии, работающей совместно с межтурбинным переходным каналом, сделаны следующие выводы:

1) В результате внедрения толстых силовых профилей в аэродинамически короткую решетку сопловых аппаратов возникает существенная неравномерность потока, которая обусловлена различной структурой вторичных течений в межлопаточном канале.

2) Вторичные течения в межлопаточном канале, расположенном со стороны корытца толстой силовой лопатки проявляется более интенсивно и расположены выше над торцевой стенкой.

3) В решетке из различных профилей возникают межлопаточные каналы с различными аэродинамическими характеристиками. Различие в углах выхода потока по межлопаточным каналам ухудшает условия работы рабочего колеса и эффективность ступени.

4) Снижение неравномерности потока возможно за счет конструктивных мероприятий, направленных на уменьшение размерности канального вихря, образующегося на входной кромке толстой силовой лопатки. Как одно из мероприятий рассматривается модернизация входной кромки толстой силовой лопатки.

5) Для реализации численного моделирования аэродинамически коротких решеток с внедренными толстыми силовыми профилями на этапах оптимизации конструкции, достаточно выполнения стационарного расчета на модели турбулентности SST. Данный расчет достаточно точно описывает местоположение области вторичных течений в межлопаточном канале. При необходимости более детального анализа вихревых структур данного моделирования уже недостаточно. При учете уровня входной турбулентности потока, характерного для условий работы решетки в системе ГТД, необходимо нестационарное моделирование с использованием модели турбулентности SAS SST на расчетной сетке,

которой достаточно для описания ламинарно-турбулентного перехода и разрешения LES в основном потоке.

Features of the characteristics of an aerodynamically short annular turbine lattice, consisting of blades of various profiles

Remizov I.A., Vyatkov V.V.
RSATU, Rybinsk, Russia

In the design of two-shaft gas turbine engines for various purposes, constructive solution in the form of a combined rack assembly of a low-pressure turbine.

In this case, the grating of the nozzle apparatus is formed from profiles of various thicknesses. For formation of power racks, it is necessary to increase the chord of the nozzle apparatus, which leads to closure of secondary flows in the interscapular canal. Those. with the dimension of the gas generator, characteristic of advanced gas turbine engines, the low-pressure turbine nozzle becomes aerodynamically short. The results of the study of such gratings in the open press are absent, which determines the relevance of research in this direction.

According to the results of numerical and experimental studies of the ring lattice profiles of different geometry, working together with the inter-turbine transition channel, the following conclusions were made:

1) As a result of the introduction of thick power profiles into an aerodynamically short nozzle array, there is a significant non-uniformity of the flow, which due to the different structure of secondary flows in the interscapular canal.

2) Secondary flows in the interscapular channel located on the side of the trough thick power blades appear more intensely and are located higher above the end wall.

3) In a lattice of different profiles, interblade channels with different aerodynamic characteristics. The difference in the angles of the flow exit along the interblade channels worsens the operating conditions of the impeller and the efficiency of the stage.

4) Reducing the unevenness of the flow is possible due to constructive measures, aimed at reducing the dimension of the channel vortex formed at the leading edge thick power blade. As one of the measures, the modernization of the entrance edges of a thick power blade.

5) To implement numerical simulation of aerodynamically short gratings with introduced thick power profiles at the stages of design optimization, it is enough performing a stationary calculation on the SST turbulence model. This calculation is enough accurately describes the location of the region of secondary flows in the interblade channel. At the need for a more detailed analysis of the vortex structures of this simulation is no longer enough. When taking into account the level of inlet turbulence of the flow, characteristic of the operating conditions gratings in the gas turbine engine system, non-stationary simulation is required using the model turbulence SAS SST on the computational grid, which is sufficient to describe the laminar turbulent transition and LES resolution in the main stream.

Метрологическое обеспечение испытаний двигателей летательных аппаратов в системе менеджмента качества научно-исследовательской деятельности вуза

Ромашова М.О., Монахова В.П., Хартов С.А., Ерикова А.М.
МАИ, г. Москва, Россия

Метрологическое обеспечение экспериментальных исследований ДЛА связано с разработкой новых методик испытаний, созданием испытательных стендов и оснащением их современными информационно-измерительными системами; с поддержанием необходимого уровня измерительных процессов и измерительного оборудования [1]. Эффективность метрологического обеспечения определяет достижимость целей качества продукции (услуг) и управления риском неправильных результатов измерения.

Уровень менеджмента качества в области метрологического обеспечения научной деятельности в вузах в настоящее время существенно отстает от современных требований, что приводит к снижению качества выполняемых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

В данной работе проанализированы требования международных и национальных стандартов на системы менеджмента качества [2-5] к метрологическому обеспечению организаций, участвующих в создании, производстве и эксплуатации изделий, а также требования международных и национальных стандартов к точности методов и результатов измерений [6-10] и соответствующие вспомогательные руководящие документы (ПР, МИ, РМГ).

Авторами предложены подходы к организации метрологического обеспечения и выбору средств измерений в научных лабораториях вуза с учетом требований современных международных и национальных стандартов на основе внедрения функциональной модели системы менеджмента измерений.

На примере научной лаборатории «Исследование характеристик электроракетных двигателей» показаны принципы организации системы управления метрологическим обеспечением, разработаны методы и средства для оценки влияния погрешности измерений на характеристики распределения контролируемых параметров, разработана методика оценки рисков измерительных процессов.

Литература:

1. В.А. Афанасьев, М.М. Жигунов, А.И. Ланшин, Монахова В.П., О.В. Тушавина Экспериментальная отработка и сертификационные испытания авиационных двигателей: Учебник / Под общей редакцией А.И. Ланшина и В.А. Афанасьева. – М.: Изд-во МАИ, 2021. – 456 с.

2. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования».

3. ГОСТ Р ИСО 9004-2019 «Менеджмент качества. Качество организации. Руководство по достижению устойчивого успеха организации».

4. ГОСТ Р 58876-2020 «Системы менеджмента качества организаций авиационной, космической и оборонной отраслей промышленности. Требования».

5. ГОСТ Р ИСО 10012-2008 «Менеджмент организации. Системы менеджмента измерений. Требования к процессам измерений и измерительному оборудованию».

6. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».

7. ГОСТ Р ИСО 5725-1 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1 - Часть 6.

8. ГОСТ Р 8.563 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений».

9. ГОСТ Р 8.568-97 «Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения».

10. ГОСТ Р 51672 «Метрологическое обеспечение испытаний продукции для целей подтверждения соответствия».

Metrological support for testing aircraft engines in the quality management system of research activities of the university

Romashova M.O., Monakhova V.P., Hartov S.A., Erikova A.M.
MAI, Moscow, Russia

Metrological support for experimental studies of AE is associated with the development of new test methods, the creation of test benches and their equipping with modern information and measuring systems; maintaining the required level of measuring processes and measuring equipment [1]. The effectiveness of metrological support determines the attainability of product (service) quality goals and the risk management of incorrect measurement results.

The level of quality management in the field of metrological support of scientific activities in universities currently lags significantly behind modern requirements, which leads to a decrease in the quality of research and development work performed.

This work analyzes the requirements of international and national standards for quality management systems [2-5] for metrological support of organizations involved in the creation, production and operation of products, as well as the requirements of international and national

standards for the accuracy of measurement methods and results [6-10] and the corresponding auxiliary guidance documents (RM, MM, RIS).

The authors proposed approaches to the organization of metrological support and the choice of measuring instruments in scientific laboratories of the university, taking into account the requirements of modern international and national standards based on the introduction of a functional model of the measurement management system.

Using the example of the scientific laboratory "Study of Characteristics of Electric Rocket Engines," the principles of organizing a metrological support control system are shown, methods and means for assessing the impact of measurement error on the characteristics of the distribution of controlled parameters are developed, a methodology for assessing the risks of measuring processes is developed.

References:

1. V.A. Afanasyev, M.M. Zhigunov, A.I. Lanshin, Monakhova V.P., O.V. Tushavina Experimental testing and certification tests of aircraft engines: Textbook/Edited by A.I. Lanshin and V.A. Afanasyev. - M.: Publishing House of MAI, 2021. - 456 p.

2. GOST R ISO 9001-2015 Quality Management Systems. Requirements".

3. GOST R ISO 9004-2019 Quality Management. Organization quality. A Guide to Achieving Sustainable Success for Your Organization".

4. GOST R 58876-2020 "Quality Management Systems for Aviation, Space and Defense Industry Organizations. Requirements".

5. GOST R ISO 10012-2008 "Organization Management. Measurement management systems. Requirements for measurement processes and measuring equipment".

6. GOST ISO/IEC 17025-2019 General Competence Requirements for Testing and Calibration Laboratories.

7. GOST R ISO 5725-1 Accuracy (Accuracy and Precision) of Measurement Methods and Results. Part 1 - Part 6.

8. GOST R 8.563 "State System for Ensuring Uniformity of Measurements. Measurement Methods (Methods)".

9. GOST R 8.568-97 "State System for Ensuring Uniformity of Measurements. Certification of test equipment. Basic provisions".

10. GOST R 51672 Metrological Support for Product Testing for Compliance Confirmation Purposes.

Обзор альтернативных видов авиационного топлива

Рыбьяков А.В., Феоктистова О.Г.
МГТУ ГА, г. Москва, Россия

Одним из первых опытов перехода воздушных судов на альтернативные виды топлива можно назвать проект Aircraft Nuclear Propulsion (Авиационный ядерный двигатель) Вооруженных сил США. Данная программа развивалась в США с 1946 по 1961 год, для ее реализации стратегический бомбардировщик Convair B-36 был переделан в атомолет. Аналогичные опыты проводились в СССР, стратегический бомбардировщик Ту-95 (также послуживший базой для пассажирского самолета Ту-114), был переделан в атомолет, проект получил собственное наименование Ту-119. Но уже к середине 1960-х годов оба проекта были остановлены и признаны неудачными.

В дальнейшем авиаконструкторы СССР решили перейти на более экологичный вид топлива – природный газ. Данный проект разрабатывался с 1980 года, был разработан авиационный криогенный комплекс, позволяющий проводить различные виды испытаний с использованием больших количеств криогенной жидкости. Для апробации технических решений был выбран Ту-154Б, уже хорошо зарекомендовавший себя в перевозках и знакомый авиационному персоналу страны. У самолета третий (правый) двигатель был приспособлен для полетов на сжижином природном газе. Жидкий водород с его высокой удельной теплотворной способностью, втрое превосходящей углеводородные топлива, оказался чрезвычайно перспективен как горючее для различных двигателей, а запас газа на борту Ту-

155 позволял совершать полеты продолжительностью до двух часов. Позднее в КБ Туполева рассматривались проекты по ремоторизации Ту-134 на двигатели, работающие на природном газе, а Ту-154М предлагалось дорабатывать до Ту-156 с аналогичными двигателями. Но данная ремоторизация требовала больших затрат на наземное оборудование. Кроме того, в СССР началась перестройка и прорывные идеи отошли на второй план. Американская корпорация Boeing смогла провести летные испытания водородного самолета только в 2008 году (легкомоторный самолет), а Airbus в 2020 году представил программу Airbus ZEROe, по которой с 2035 году могут начаться полеты водородных воздушных судов.

В то же время популярность набирают программы использования электричества, как топлива для воздушных судов. Многие частные предприятия стали разрабатывать различные воздушные суда, использующие электричество. Примером электросамолетов, использующих аккумуляторы, может служить двухместный Airbus E-FAN, впервые поднявшийся в воздух 11 марта 2014 года. 18 сентября 2022 года совершил свой первый полет самый крупный на сегодня самолет на аккумуляторной тяге, Alice от компании Eviation Aircraft.

В настоящее время наиболее коммерчески успешной заменой авиационного керосина стало авиационное биотопливо (sustainable aviation fuel, SAF). В 2008 году состоялся первый полет самолета с использованием биотоплива, один из четырех двигателей опытного Boeing 747 питался смесью (50/50) авиакеросина и SAF. Сейчас проведены опыты по полетам на 100% SAF во всех режимах полета, а смесь традиционного и биотоплива используется при коммерческой эксплуатации и при перегоночных полетах. Однако SAF не позволяет полностью избавиться от углеводородных выбросов, а лишь приносит углеводородную нейтральность авиаперевозкам, но в настоящий момент данный вид авиационного топлива является наиболее перспективным.

Overview of alternative types of aviation fuel

Rybiakov A.V., Feoktistova O.G.
MSTUCA, Moscow, Russia

One of the first experiments of aircraft switching to alternative fuels can be called the Aircraft Nuclear Propulsion project The US Armed Forces. This program was developed in the USA from 1946 to 1961, for its implementation, the Convair B-36 strategic bomber was converted into an atomolet. Similar experiments were conducted in the USSR, the Tu-95 strategic bomber (which also served as the base for the Tu-114 passenger aircraft) was converted into an atomolet, the project received its own name Tu-119. But by the mid-1960s, both projects were stopped and declared unsuccessful.

In the future, the aircraft designers of the USSR decided to switch to a more environmentally friendly type of fuel – natural gas. This project has been developed since 1980, an aviation cryogenic complex has been developed that allows for various types of tests using large amounts of cryogenic liquid. The Tu-154B, which has already proven itself well in transportation and is familiar to the aviation personnel of the country, was chosen for testing technical solutions. The aircraft's third (right) engine was adapted for flights on liquefied natural gas. Liquid hydrogen with its high specific calorific value, three times higher than hydrocarbon fuels, turned out to be extremely promising as fuel for various engines, and the gas reserve on board the Tu-155 allowed flights lasting up to two hours. Later, the Tupolev Design Bureau considered projects for the remotorization of the Tu-134 for engines running on natural gas, and the Tu-154M was proposed to be upgraded to the Tu-156 with similar engines. But this remotorization required large expenditures on ground equipment. In addition, perestroika began in the USSR and breakthrough ideas faded into the background. The American Boeing Corporation was able to conduct flight tests of a hydrogen aircraft only in 2008 (a light-engine aircraft), and Airbus in 2020 introduced the Airbus ZEROe program, according to which hydrogen aircraft flights can begin in 2035.

At the same time, programs for using electricity as fuel for aircraft are gaining popularity. Many private enterprises began to develop various aircraft using electricity. An example of electric aircraft using batteries is the two-seat Airbus E-FAN, which first took to the air on March 11, 2014. On

September 18, 2022, the largest battery-powered aircraft to date, Alice from Eviation Aircraft, made its first flight.

Currently, the most commercially successful replacement for aviation kerosene has become aviation biofuel (sustainable aviation fuel, SAF). In 2008, the first flight of an aircraft using biofuels took place, one of the four engines of the experimental Boeing 747 was powered by a mixture (50/50) of jet fuel and SAF. Experiments have now been conducted on flights at 100% SAF in all flight modes, and a mixture of traditional and biofuels is used in commercial operation and during distillation flights. However, SAF does not allow to completely get rid of hydrocarbon emissions, but only brings hydrocarbon neutrality to air transportation, but at the moment this type of aviation fuel is the most promising.

Методы расчета теплового состояния и радиальных перемещений корпуса турбины ГТД для применения в составе математической модели системы активного управления радиальными зазорами

Самойленко Н.А.

АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, Россия

Один из путей развития существующих систем активного управления радиальными зазорами (САУРЗ) – динамическое управление, основанное на математическом моделировании.

Для математических моделей, интегрированных в цифровой электронный регулятор системы управления, помимо требуемого уровня точности, главным является скорость вычислений, так как расчеты производятся в режиме реального времени.

В данной работе рассмотрены методы определения нестационарного теплового состояния и радиальных перемещений статора турбины с учетом вышеописанных требований.

Определено, что в наиболее простой постановке возможно учитывать деформации только внешнего корпуса (без учета закрепленных на нем секторных деталей). Установлено, что деформация от перепада давлений составляет 2-3% от температурной, следовательно, для ускорения расчетов ей можно пренебречь. Определение радиальных перемещений корпуса сводится к определению его нестационарного теплового состояния, были рассмотрены следующие методы:

1. Непосредственное измерение температуры корпуса (двигатель CFM56-7B [1]). При такой методике деформации рассчитываются по коэффициенту теплового расширения для одной точки. В результате сравнения с осесимметричным расчетом тепловой деформации (среднее значение между зацепами обода) получена высокая сходимость результатов. При такой методике невозможно моделирование предстоящих условий обдува, а только управление по фактической температуре корпуса.

2. Моделирование температуры корпуса с использованием постоянных времени. Выражение для расчета содержит стационарные температуры и постоянные времени которые динамически вычисляются в каждый момент регистрации параметров. Вычисление стационарных температур и постоянных времени через коэффициенты теплоотдачи зависит от режима работы САУРЗ (включена/выключена) [2]. Результаты моделирования сопоставлены с результатами термометрирования корпуса турбины на полноразмерном двигателе, одномерная модель достоверно воспроизводит динамику изменения температур, значение температуры точки находится в диапазоне показаний термопар.

3. Одномерный метод конечных разностей (МКР). Данный метод дает достоверные результаты для ротора, однако статор имеет более сложную форму, так на одном радиусе могут находится несколько разных деталей, зоны теплообмена

деталь-воздух и деталь-деталь. В работе [3] представлено сравнение моделирования стационарных температур корпусов наземного ГТД по 1D (МКР), 2D и 3D моделям. Погрешность температур, рассчитанных по 1D модели, относительно экспериментальных данных составляет более 15%. Также метод является более трудоемким чем вычисление постоянных времени.

По результатам работы определено, что для интеграции в электронный регулятор системы управления пригодны модели, основанные на прямом измерении температуры корпуса и динамическом вычислении постоянных времени, так как удовлетворяют требованиям по точности и быстродействию.

Литература:

1. Linke-Diesinger A. Systems of commercial turbofan engines. An introduction to system functions. Leipzig: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. 239 p.

2. Гречишников О.В., Балакин А.Ю., Росляков А.Д. Тепловое состояние статора газотурбинного двигателя наземного применения. .Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2013. 3(41). с. 57-64.

3. Андропов А.С., Тихомиров Б.А., Ерохин С.К., Моделирование теплового состояния корпуса газотурбинного двигателя, установленного в защитном кожухе. Газовая промышленность. 2017. 4(751). с. 68-74.

Methods for calculating the thermal state and radial displacements of the GTE turbine case for use as part of a mathematical model of the active clearance control system

Samoylenko N.A.

UEC-Aviadvigatel JSC, Perm, Russia

One of the ways to develop existing active clearance control (ACC) systems is dynamic control based on mathematical modeling.

For mathematical models integrated into the digital electronic controller of the control system, in addition to the required level of accuracy, the main thing is the speed of calculations, since the they are made in real time.

In this article, methods for determining the transient thermal state and radial displacements of the turbine case are considered, taking into account the above requirements.

It is determined that in the simplest setting it is possible to take into account deformations of only the outer turbine case. It is determined that the deformation due to the pressure difference is 2-3% of the temperature one, therefore, to speed up the calculations, it can be neglected. The determination of the radial displacements of the body is reduced to the determination of its transient thermal state, the following methods were considered:

1. Direct measurement of case temperature (CFM56-7B engine [1]). With this technique, deformations are calculated from the coefficient of thermal expansion for one point. As a result of comparison with the axisymmetric calculation of thermal deformation (the average value between the rim hooks), a high convergence of the results was obtained. With this technique, it is impossible to simulate the upcoming blowing conditions.

2. Case temperature simulation using time constants. The calculation expression contains stationary temperatures and time constants that are dynamically calculated at each moment of parameter registration. The calculation of stationary temperatures and time constants through the heat transfer coefficients depends on the mode of operation of the ACC (on/off) [2]. The simulation results are compared with the results of turbine case temperature measurement on a full-size engine, the one-dimensional model reliably reproduces the dynamics of temperature changes, the point temperature value is in the range of thermocouples readings.

3. One-dimensional finite difference method (FDM). This method gives reliable results for the rotor, however, the stator has a more complex shape, so several different parts can be located on the same radius, heat exchange zones detail-air and detail-detail. The work [3] presents a comparison of the modeling of stationary temperatures of ground-based GTE using 1D (FDM), 2D and 3D models. The error of temperatures calculated by the 1D model relative to the experimental data is more than 15%. Also, the method is more laborious than the calculation of time constants.

Based on the results, it was determined that models based on the case temperature measurement and dynamic calculation of time constants are suitable for integration into the electronic controller of the control system, since they meet the requirements for accuracy and speed.

References:

1. Linke-Diesinger A. Systems of commercial turbofan engines. An introduction to system functions. – Leipzig: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. – 239 p.
2. Grechishnikov O.V., Balakin A.YU., Roslyakov A.D. Teplovoe sostoyanie statora gazoturbinnogo dvigatelya nazemnogo primeneniya. Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta. 2013,vol. 3(41). pp. 57-64.
3. Andropov A.S., Tihomirov B.A., Erohin S.K. Modelirovanie teplovogo sostoyaniya korpusa gazoturbinnogo dvigatelya, ustanovlennogo v zashchitnom kozhuhe. Gazovaya promyshlennost'. 2017. №4(751). pp 68-74.

Двигательная установка со штыревым соплом

Семенов В.В., Боровик И.Н.
МАИ, г. Москва, Россия

Современные двигательные установки (ДУ) ракет-носителей часто имеют многокамерную схему, камеры которых расположены по её периметру, напр., ДУ «Merlin 1D», которая состоит из 9-ти жидкостных ракетных двигателей.

Одним из направлений совершенствования ДУ большой тяги является разработка кольцевого штыревого сопла, обладающего автоматическим регули-рованием высотности. При этом торовая камера сгорания штыревого сопла снабжена камерами сгорания, расположенными по периметру ДУ. Дело в том, что до сих пор еще не создана работающая торовая камера сопла.

Доклад посвящен изучению тяговых характеристик ДУ, состоящей из 8-ми камер, расположенных по её периметру, и снабженной штыревым соплом.

Доклад содержит результаты расчётов взаимодействия струй газа, выте-кающих из камер сгорания в торовую камеру, а также результаты расчётов течения газового потока в трактах штыревого сопла.

Показано, что на криволинейном контуре круглого центрального тела штыревого сопла происходит свободное расширение и ускорение сверхзвуковой струи, а на кромке узкой кольцевой щели происходит разворот потока (возникает течение Прандтля − Майера) до тех пор, пока давление газа на внешней границе свободной струи не сравняется с атмосферным, в результате чего происходит автоматическое регулирование высотности, то есть на любой высоте полета ракеты-носителя такое сопло всегда работает на расчетном режиме, создавая максимальную тягу ДУ.

Будут представлены результаты численных методов расчета 3-хмерного вязкого течения газового потока в трактах кольцевого штыревого сопла. Для моделирования вязких турбулентных течений используется сертифицированная программа Ansys, с помощью которой численно решается система уравнений Навье-Стокса с использованием к–ε модели турбулентности.

Propulsion system with annular nozzle

Semenov V.V., Borovik I.N.
MAI, Moscow, Russia

Modern propulsion systems (PS) of launch vehicles often have a multi-chamber scheme, the cameras of which are located along its perimeter, for example, the Merlin 1D propulsion system, which consists of 9 liquid rocket engines.

One of the ways to improve high-thrust propulsion is the development of an annular pin nozzle with automatic altitude control. In this case, the torus combustion chamber of the pin nozzle is equipped with combustion chambers located along the perimeter of the PS. The fact is that a working torus chamber of the nozzle has not yet been created.

The report is devoted to the study of the thrust characteristics of the PS, consisting of 8 chambers located along its perimeter, and equipped with a pin nozzle.

The report contains the results of calculations of the interaction of gas jets flowing from the combustion chambers into the torus chamber, as well as the results of calculations of the gas flow in the ducts of the pin nozzle.

It is shown that on the curvilinear contour of the round central body of the pin nozzle, free expansion and acceleration of the supersonic jet occurs, and on the edge of a narrow annular slot, the flow reverses (the Prandtl–Meyer flow arises) until the gas pressure at the outer boundary of the free jet is equal to atmospheric, resulting in automatic altitude control, that is, at any launch vehicle flight altitude, such a nozzle always operates in the design mode, creating the maximum thrust of the propulsion system.

The results of numerical methods for calculating the 3-dimensional viscous flow of a gas flow in the ducts of an annular pin nozzle will be presented. To simulate viscous turbulent flows, the certified Ansys program is used with the help of which the system of Navier-Stokes equations is numerically solved using the k–ε turbulence model.

Распределённая силовая установка с газодинамическим приводом

Серьезнов А.И.
МАИ, г. Москва, Россия

В данной работе в рамках международного конкурса Авиация и Космонавтика представлены основные тезисы по теме: Применение распределённой силовой установки (РСУ) с газодинамическим приводом турбовентиляторных агрегатов для Персептивного грузового беспилотного летательного аппарата с системой вертикального (либо укороченного взлёта) и вертикальной посадкой.

1) РСУ предназначена для перспективного грузового беспилотного летательного аппарата с системой вертикального либо укороченного взлёта) и вертикальной посадкой.

2) Необходимость в РСУ: Для достижения топливной экономичности, высокой горизонтальной скорости полёта, возможности осуществления вертикального (или укороченного) взлёта и вертикальной посадки необходима распределённая силовая установка, состоящая из одного газогенератора и четырёх турбовентиляторных агрегатов сверхвысокой степенью двухконтурности.

3) Конструкция РСУ:

3.1) РСУ состоит из одного газогенератора. Применение одного газогенератора является необходимым и достаточным условием эксплуатации беспилотного воздушного судна.

3.2) Газогенератор выполнен с осецентробежным компрессором, противоточной камерой сгорания, одноступенчатой турбиной однокаскадного компрессора.

3.3) Максимальная температура газа перед турбиной в 1200К.

3.4) Выбор газодинамической связи между газогенератором и турбовентиляторными агрегатами основан, ожидаемо значительно меньшей массе подобной силовой установки в сравнении с другими типами распределённых силовых установок с механическим или электрическим приводом.

3.5) Рассматривается использование четырёх турбовентиляторных агрегатов, в качестве подъёмно-маршевых движителей. Данное количество является необходимым и достаточным с точки зрения системы управления летательным аппаратом и компоновки беспилотного воздушного судна.

3.6) Осуществление вертикального (или укороченного) взлёта, переход от вертикального полёта к горизонтальному полету, возможно осуществить с помощью сопла с изменением направления вектора тяги.

Заключение:

Произведена аналитика индустрии гражданских пассажирских перевозок, выявлена не занятая ниша. Предложена концепция беспилотного летательного аппарата нового типа. Разработан и обоснован технический облик силовой установки. Представлены основные тезисы.

Литература:

1. Силовые установки нетрадиционных схема для перспективных магистральных самолётов нового поколения, С.М. Каленский, Т. А. Морзеева, Ю. А. Эзорохи; под ред. Эзрохи Ю.А.; Гос. Науч. Центр РФ, Центр ин-т авац. Моторостроения им. П.И. Баранова, - М. : ЦИАМ 2019.

2. Методические указания к выполнению курсовых работ по курсу «Теория и расчет авиационных двигателей и энергетических установок». Авторысоставители: А.Б. Агульник, И.В. Кравченко – М.: Изд-во МАИ, 2012. - с.- Выбор параметров и газодинамический расчет осевых компрессоров и турбин авиационных ГТД, О.Н. Емин, В.Н. Карасев, Ю.А. Ржавин.

Distributed Power plant with gas dynamic drive

Sereznov A.I.
MAI, Moscow, Russia

In this paper, within the framework of the international Aviation and Cosmonautics competition, the main theses on the topic are presented: The use of a distributed power plant (DPP) with a gas-dynamic drive of turbofan units for a Perceptive cargo unmanned aerial vehicle with a vertical (or shortened takeoff) and vertical landing system.

1) The DPP is designed for a promising cargo unmanned aerial vehicle with a vertical or shortened take-off system) and vertical landing.

2) The need for a DPP: To achieve fuel efficiency, high horizontal flight speed, the possibility of vertical (or shortened) takeoff and vertical landing, a distributed power plant consisting of one gas generator and four turbofan units with an ultra-high degree of double-circuit is necessary.

3) DCS design:

3.1) The DPP consists of one gas generator. The use of one gas generator is a necessary and sufficient condition for the operation of an unmanned aircraft.

3.2) The gas generator is made with an axial-flow compressor, a countercurrent combustion chamber, a single-stage turbine of a single-stage compressor.

3.3) The maximum gas temperature in front of the turbine is 1200K.

3.4) The choice of gas-dynamic coupling between the gas generator and turbofan units is based on the expected significantly smaller mass of such a power plant in comparison with other types of distributed power plants with mechanical or electric drive.

3.5) The use of four turbofan units as lifting and marching propellers is considered. This amount is necessary and sufficient from the point of view of the aircraft control system and the layout of the unmanned aircraft.

3.6) The implementation of vertical (or shortened) takeoff, the transition from vertical flight to horizontal flight, can be carried out using a nozzle with a change in the direction of the thrust vector.

Conclusion:

The analysis of the civil passenger transportation industry has been carried out, an unoccupied niche has been identified. The concept of a new type of unmanned aerial vehicle is proposed. The technical appearance of the power plant has been developed and justified. The main theses are presented.

References:

1. Power plants of unconventional models for promising new-generation mainline aircraft, S.M. Kalensky, T. A. Morzeeva, Yu.A. Ezorokhi; ed. Ezrokhi Yu.A.; State. Sci. The Center of the Russian Federation, the Center of in-t avac. Motor Engineering named after P.I. Baranov, - M. : CIAM 2019.

2. Methodological guidelines for the implementation of term papers on the course "Theory and calculation of aircraft engines and power plants". Authors: A.B. Agulnik, I.V. Kravchenko – M.: Publishing House of MAI, 2012. - S.- Selection of parameters and gas-dynamic calculation of axial compressors and turbines of aviation gas turbine engines, O.N. Emin, V.N. Karasev, Yu.A. Rzhavin.

Перспективы применения концентрированных потоков энергии для постобработки и модифицирования поверхностного слоя деталей, полученных с помощью СЛС - технологии

Стешенко И.Г.
ММП имени В.В. Чернышева, г. Москва, Россия

Использование аддитивного технологий позволяет уже сегодня реализовать новые инновационные проекты любой сложности, которые ранее считались невозможными или нерентабельными, и по сути аддитивное производство выступает в качестве новой парадигмы

проектирования и производства высокоэффективных компонентов для аэрокосмической, медицинской, энергетической и автомобильной промышленности.

Известно, что на сегодняшний день наиболее востребованной технологией среди технологий аддитивного производства для изготовления металлических изделий является технология селективного сплавления с помощью твердотельного лазера. Однако, особенности данной технологии накладывают определенные требования к выбору материала, а именно отсутствие склонности к образованию дефектов при лазерном воздействии для обеспечения должного уровня эксплуатационных свойств. Поэтому наибольший интерес представляют сплавы на основе коррозионностойких сталей и изготовление из них различных изделий ответственного назначения методами аддитивного производства.

Важной особенностью технологического процесса производства деталей, к которым предъявляются высокие требования к поверхностному и подповерхностному слоям (пористость, шероховатость, микротвердость, структура и др.), является необходимость операции постобработки, составляющей до трети стоимости производства 3D-печатного изделия.

В производственных процессах с использованием СЛС-технологии, применяются следующие процессы постобработки детали: пескоструйная и дробеструйная обработки, электрохимическая полировка, лазерное выглаживание и др.

В данной работе представлены результаты исследования и испытаний образцов из нержавеющей стали различных марок, изготовленных с помощью СЛС-технологии, с последующим облучением сильноточными импульсными электронными пучками (СИЭП) в качестве операции постобработки после синтезирования объекта исследования. Полученные результаты замеров шероховатости, микротвердости и анализа микроструктуры и др. убедительно доказывают не только возможность использования облучения с помощью СИЭП в качестве операции постообработки, но и позволяют получить модифицированный поверхностный слой глубиной от ~5 мкм до ~ 20 мкм.

Кроме того, в работе показано, что применение концентрированных потоков энергии дает возможность в значительной степени снизить число дефектов, образующихся при построении в поверхностном и подповерхностном слоях исследованных образцов- мишеней.

Prospects for the use of concentrated energy flows for post-processing and modification of the surface layer of parts obtained using SLS technology

Steshenko I.G.

Chernyshev Moscow Machine-Building Enterprise, Moscow, Russia

The use of additive technologies makes it possible today to implement new innovative projects of any complexity that were previously considered impossible or unprofitable, and in fact additive manufacturing acts as a new paradigm for the design and production of highly efficient components for the aerospace, medical, energy and automotive industries.

It is known that today the most popular technology among additive manufacturing technologies for the manufacture of metal products is the technology of selective melting using a solid-state laser. However, the features of this technology impose certain requirements on the choice of material, namely the tendency to form defects during laser exposure, as well as to ensure a high level of operational properties. Therefore, alloys based on corrosion-resistant steels and the manufacture of various critical products from them by additive manufacturing methods are of the greatest interest.

An important feature of the manufacturing process of parts that place high demands on surface and subsurface layers (porosity, roughness, microhardness, structure, etc.) is the need for post-processing operations, which can account for almost a third of the cost of manufacturing a 3D-printed product.

In the production processes in which SLS technology is used, the following processes of subsequent processing of the part are used: sandblasting and shot blasting, electrochemical polishing, laser smoothing, etc.

This article presents the results of research and testing of stainless steel samples of various grades manufactured using SLM technology followed by irradiation with high-current pulsed electron beams (HPEB) as a post-processing operation after synthesis of the object of study. The obtained

results of roughness measurements, microhardness and microstructure analysis, etc., convincingly prove not only the possibility of using HPEB irradiation as a post-treatment operation, but also allow to obtain a modified surface layer with a depth of ~ 5 microns to ~20 microns.

In addition, the paper shows that the use of concentrated energy flows can significantly reduce the number of defects formed during the design of the studied target samples in surface and subsurface layers.

«Гибридная силовая установка с маршевым двигателем и распределённой винтомоторной группой по размаху крыла для лёгкого самолёта»

Сычёв А.В., Балясный К.В., Борисов Д.А.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время гибридные силовые установки (ГСУ) и электрические силовые установки (ЭСУ) на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС), газотурбинных двигателей (ГТД), электрических двигателей и генераторов получают большое распространение в экспериментальных работах в связи с общим улучшением применяемых технологий. Одной из интересных задач применения таких ГСУ являются установка на самолёты с укороченным взлётом и посадкой при применении электрической, распределённой винтомоторной группы по размаху крыла. Идея заключается в том, что на взлётном режиме используется основная маршевая ГСУ состоящая из ДВС и электрического мотор-генератора с прямым приводом на воздушный винт и дополнительными ЭСУ на крыле самолёта для повышения подъёмной силы крыла за счёт обдувки воздушными винтами ЭСУ. В крейсерском режиме полёта для создания тяги основного воздушного винта используется только ДВС, а электрический мотор-генератор (который на взлётном режиме, работал, как электродвигатель для повышения мощности ДВС) переходи в режим генератора для подзарядки буферного аккумулятора ГСУ и аккумуляторов, распределённых ЭСУ на крыле. Распределённая ЭСУ на крыле самолёта имеет складные воздушные винты для уменьшения сопротивления в крейсерском полёте. Также распределённая ЭСУ может использоваться на земле для улучшения маневрирования. Применение рассматриваемой по размаху крыла винтомоторной ЭСУ приведёт к уменьшению взлётной и посадочной дистанции лёгкого самолёта, а также к сокращению расхода топлива и вредных выбросов ДВС. Мощность применяемого ДВС можно уменьшить тем самым удушив его стоимость.

В настоящее время маршевая ГСУ проходит испытания на стенде. Спроектированы части, входящие в распределённую ЭСУ. Создан макет лёгкого самолёта с распределённой ЭСУ. Проводятся испытания прототипа распределённой ЭСУ с воздушным винтом. Анализируется схема и основные характеристики экспериментального лёгкого самолёта с ГСУ и распределённой ЭСУ. Рассматривается вариант с применением бензинового генератора вместо маршевой ГСУ с изготовлением экспериментального стенда.

Hybrid power plant with a sustainer engine and a distributed propeller group along the wing span for a light aircraft

Sychev A.V., Balyasny K.V., Borisov D.A.
MAI, Moscow, Russia

Currently, hybrid power plants (HPP) and electric power plants (EPP) based on internal combustion engines (ICE), gas turbine engines (GTE), electric motors and generators are widely used in experimental work due to the general improvement of the technologies used. One of the interesting tasks of using such HPPs is installation on aircraft with short takeoff and landing when using an electric, distributed propeller group along the wing span. The idea is that in takeoff mode, the main sustainer HPP is used, consisting of an internal combustion engine and an electric motor-generator with direct drive to the propeller and additional EPP on the wing of the aircraft to increase the lift of the wing due to blowing by EPP propellers. In cruising flight mode, only the internal combustion engine is used to create thrust for the main propeller, and the electric motor-generator (which, during takeoff, worked as an electric motor to increase the power of the internal combustion engine), switch to generator mode to recharge the HPP buffer battery and the batteries distributed by the EPP on the

wing . The distributed ESA on the wing of the aircraft has folding propellers to reduce drag in cruise flight. Also, distributed EPP can be used on the ground to improve maneuvering. The use of a propeller-driven EPP, considered in terms of the wing span, will lead to a decrease in the take-off and landing distance of a light aircraft, as well as to a reduction in fuel consumption and harmful emissions of internal combustion engines. The power of the used internal combustion engine can be reduced, thereby suffocating its cost.

Currently, the mid-flight HPP is being tested on the stand. The parts included in the distributed EPP are designed. A model of a light aircraft with a distributed EPP has been created. A prototype distributed EPP with a propeller is being tested. The scheme and main characteristics of an experimental light aircraft with a HPP and a distributed EPP are analyzed. A variant is being considered with the use of a gasoline generator instead of a mid-flight HPP with the manufacture of an experimental stand.

Влияние учёта соседних фронтовых устройств на эмиссию вредных веществ при проведении численных исследований процессов в камерах сгорания ГТД

Тарасенко А.Н., Силуянова М.В.
МАИ, г. Москва, Россия

При проведении численных исследований процессов горения в камерах сгорания ГТД особо важную роль имеет правильная постановка, в которой производится расчёт. Чем большее количество эффектов будет учтено, тем с одной стороны точнее математическая модель описывает реальный объект, но с другой стороны, тем выше вычислительная сложность и тем меньше вероятность достижения сходимости. Одним из наиболее распространенных решений для упрощения исходной модели камеры сгорания, является рассмотрение только одного сектора камеры сгорания и моделирование в периодической постановке. Однако, в кольцевых камерах сгорания, где пространство горения является общим для всех горелок, неравномерность подачи топлива в каждую отдельную горелку из топливного коллектора, может сказаться на итоговом расчётном прогнозе эмиссии вредных веществ [1]. С другой стороны, ужесточение требований ИКАО [2] в части допустимых значений эмиссии вредных веществ приводит к необходимости проведения более точных расчётных исследований.

В данной работе рассмотрен вопрос о влиянии учёта соседних фронтовых устройств на эмиссию вредных веществ. Была рассмотрена кольцевая модельная камера сгорания ГТД в двух постановках: с одним сектором и с тремя секторами в периодической постановке. Для анализа эмиссионных характеристик было проведено пять расчётов: три расчёта единичного сектора с разными расходами топлива, один их которых потребный теоретический, а два других отклоняются в большую и меньшую сторону на максимально допустимую величину, и два расчёта в трехсекторной постановке с одинаковыми расходами топлива на все горелки и с различными.

Было получено, что вариант с расчётом трех единичных секторов с различными расходами, позволяет получить наиболее оптимальный по времени результат с наименьшими требованиями к вычислительным ресурсам, обладает хорошей устойчивостью и в целом воспроизводит значения, получаемые при расчёте в трехсекторной постановке.

[1] А. И. Михайлов, Г. М. Горбунов, В. В. Борисов и др. Рабочий процесс и расчет камер сгорания газотурбинных двигателей / М.: Оборонгиз, 1959. – 285 с.

[2] Annex 16 to The Convention of International Civil Aviation – Environmental Protection, Volume II – Aircraft Engine Emissions, 2017.

The effect of accounting for neighboring front devices on the harmful substances emission during numerical research of processes in the gas turbine engine combustion chambers

Tarasenko A.N., Siluyanova M.V.
MAI, Moscow, Russia

When processing numerical studies of combustion processes in the gas turbine engine combustion chambers, the correct formulation of the calculation plays a significantly important role. The more effects are taken into account, the more accurately the mathematical model describes the real object

on the one hand, but on the other hand, the higher the computational complexity and the convergence achievement could be provided. One of the most common solutions to simplify the combustion chamber initial model is to consider only one sector of the combustion chamber and to simulate it in a periodic formulation. However, in annular combustion chambers, where combustion processes space is common to all burners, the non uniformity fuel supply to each individual burner from the fuel collector may affect the final estimated prediction of harmful substances emission [1]. On the other hand, the toughening of the ICAO requirements [2] in terms of permissible harmful substances emission values leads to the need for more accurate computational studies.

In this paper, the effect of accounting for neighboring front devices on the harmful substances emission is considered. The gas turbine engine model annular combustion chamber was considered in two formulations: with one sector and with three sectors in a periodic formulation. To analyze the emission levels, five calculations were carried out: three calculations of a single sector with different fuel mass flow rates, one of which is theoretical, and the other two deviate up and down by the maximum allowable value, and two calculations in a three-sector formulation with the same fuel consumption for all burners and with the deviations as for the single sectors.

It was found that the option with the calculation of three single sectors with deviating fuel mass flow rates allows you to get the most optimal result in time with the least computational resources requirements, and presents good stability and generally reproduces the values obtained during the calculation in a three-sector formulation.

[1] A. I. Mikhailov, G. M. Gorbunov, V. V. Borisov, etc. Workflow and calculation of combustion chambers of gas turbine engines / M.: Oborongiz, 1959. – 285 p.

[2] Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation – Environmental Protection, Volume II – Emissions of Aircraft Engines, 2017.

Расчёт теплового состояние соплового аппарата турбины высокого давления современного турбореактивного двухконтурного двигателя с форсажной камерой

[1]Федорова А.Р., [2]Стародумов А.В., [2]Воробьев Д.А.

[1]МАИ, [2]ОКБ им А. Люльки, г. Москва, Россия

Представленная методика оценки теплового состояния соплового аппарата турбины высокого давления, с применением SST модели турбулентности и совместной постановкой газ – твёрдое тело. Данная методика включает в себя 4 этапа. Первый этап - создание и изменение геометрии и формы соплового аппарата с модифицированием рядов перфорации для поставленной задачи, а именно – создание трехмерной модели соплового аппарат, где на среднем радиусе лопатки вырезан кольцевой слой, высотой 10 мм (расчётная модель). Последующие этапы – построение тетраэдрической сетки с призматическими слоями в ANSYS ICEM CFD, расчёт коэффициентов теплоотдачи и подогрева воздуха в каналах системы охлаждения с помощью критериев подобия конвективного теплообмена (критерий Нуссельта), где граничными условиями являются коэффициенты теплоотдачи и температуры воздуха в каналах тракта охлаждения. Последний этап – реализация теплового расчёта в ANSYS CFX, используя модель турбулентности SST. Приведён пример использования данной методики с пошаговой инструкцией для сопловой лопатки турбины высокого давления современного турбореактивного двухконтурного двигателя с форсажной камерой. Получены следующие положительные результаты теплового состояния соплового аппарата: температура металлической части расчётной модели с линиями тока и без них, полная и статическая температура газового домена и число Маха охлаждающего воздуха с линиями его направления и линиями ток. Данный метод имеет практическое применение в двигателестроительной сфере, так как снижает время теплового расчёта и позволяет ускорить процесс проверки теплового состояния новых конструкций сопловых аппаратов.

Calculation of the thermal state of the nozzle apparatus of a high-pressure turbine of a modern turbojet bypass engine with an afterburner

[1]Fedorova A.R., [2]Starodumov A.V., [2]Vorobev D.A.
[1]MAI, [2]A. Lyulka Design Bureau, Moscow, Russia

The presented technique for the operational assessment of the thermal state of the high-pressure turbine nozzle apparatus, using the SST turbulence model and joint gas-solid formulation. This technique includes 4 stages. The first stage is the creation and modification of the geometry and shape of the nozzle apparatus with the modification of perforation rows for the task, namely, the creation of a three-dimensional model of the nozzle apparatus, where an annular layer 10 mm high is cut out on the average radius of the blade (computational model). The next steps are the construction of a tetrahedral mesh with prismatic layers in ANSYS ICEM CFD, the calculation of the heat transfer and air heating coefficients in the cooling system channels using the convective heat transfer similarity criteria (Nusselt criterion), where the boundary conditions are the heat transfer coefficients and air temperatures in the channels of the cooling path. The last step is to implement the thermal analysis in ANSYS CFX using the SST turbulence model. An example of the use of this technique with step-by-step instructions for the nozzle blade of a high-pressure turbine of a modern turbojet bypass engine with an afterburner is given. The following positive results of the thermal state of the nozzle apparatus were obtained: the temperature of the metal part of the computational model with and without streamlines, the total and static temperature of the gas domain, and the Mach number of the cooling air with lines of its direction and streamlines. This method has practical application in the engine-building industry, as it reduces the time of thermal calculation and allows you to speed up the process of checking the thermal state of new designs of nozzle devices.

Верификация численных моделей роторов авиационных двигателей для решения задач роторной динамики

Шапошников К.В., Леонтьев М.К.
МАИ, г. Москва, Россия

Расчеты динамики роторов в авиационных двигателях обычно ведутся с использованием упрощенных балочных моделей. Использование МКЭ пакетов общего назначения для решения такого рода задач, является более трудоемким, так как требует значительного времени как на создание такой модели, так и на ее расчет. Применение специализированных пакетов для создания упрощенных балочных моделей двигателей позволяет существенно более эффективно строить и рассчитывать такие модели, что очень важно на этапе проектирования, когда постоянно требуется уточнять и пересчитывать модель. Однако при создании любой модели возникает проблема ее верификации. Начинать верификацию модели двигателя лучше всего с моделей его роторов. Использование методов модального анализа может существенно помочь в этом. Точность моделей (воспроизведение частот и форм колебаний) можно оценивать по результатам экспериментальных измерений. Примеры верификации моделей роторов по результатам модальных испытаний можно найти в работах [1-3]. При отсутствии данных экспериментальных измерений первичную верификацию расчетной балочной модели ротора можно проводить, опираясь на результаты расчетов его более подробной модели в МКЭ. Общий принцип создания модели ротора заключается в упрощении расчетной схемы ротора (все мелкие элементы, не влияющие на жесткость основной силовой линии ротора, опускаются) и ее последующей дискретизации (моделируют только основные детали ротора, входящие в его силовую схему).

В настоящей работе рассмотрен пример верификации численной модели ротора НД авиационного двигателя с большой степенью двухконтурности построенной в DYNAMICS R4. Исходная балочная модель основной силовой линии ротора, успешно воспроизводит первые 4 порядковые формы изгибных колебаний (free-free) аналогичной твердотельной не вращающейся свободно подвешенной модели, построенной в МКЭ, однако по ряду форм наблюдалось существенное отличие по частотам. Перевод тонкостенных элементов модели с балочных на оболочечные позволил улучшить сходимость с результатами твердотельной модели, однако для форм 2 и 3 по-прежнему наблюдалась существенная разница. Анализ

картин деформаций твердотельной модели для этих форм выявил детали ротора с зонами существенных деформаций. Сравнительные расчеты, проведенные на специально подготовленных моделях в МКЭ и DYNAMICS R4 показали, что моментные коэффициенты жесткости балочной модели конуса вала турбины практически в 2 раза выше, чем у модели в МКЭ. Полученная по результатам расчетов в МКЭ полная матрица жесткости для данного соединения была интегрирована в балочную модель. Уточненная балочная модель ротора показала существенно лучшее согласование результатов по частотам и формам с результатами расчетов аналогичной модели ротора в МКЭ.

Литература:

1. Vance J. M., Murphy B. T., Tripp H. A. Critical speeds of turbomachinery: Computer predictions vs. experimental measurements. //Proceedings of the 13th Turbomachinery Symposium. – Texas A&M University. Turbomachinery Laboratories, 1984.

2. Пирогова Н. С., Тараненко П. А. Расчетно-экспериментальный анализ собственных и критических частот и форм высокооборотного ротора микрогазотурбинной установки. //Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2015. – Т. 15. – №. 3.

3. Shaposhnikov K, Gao C. Problems of rotordynamic modeling for built-up gas turbine rotors with central tie rod shaft. //International Conference on Rotor Dynamics. – Springer, Cham, 2018. – С. 250-264.

Verification of aero engine numerical rotor models for solving rotordynamics problems

Shaposhnikov K.V., Leontyev M.K.

MAI, Moscow, Russia

In aero engines it is common to perform rotordynamics simulations using simplified beam models. Application of general-purpose FEM software packages for this type of problems is more challenging, as it takes more time both for creation and calculation of these models. Specialized rotordynamics packages offer easier and more convenient approach for creation and calculation of such models, what is very important on the design stage of the engine, when it is constantly necessary to refine and recalculate the model. However, when creating any model, always appears a problem of its verification. It is better to start verification of the engines model from models of its rotors. Application of modal analysis methods can significantly help with this. Accuracy of the models (reproduction of natural frequencies and associated mode shapes) can be estimated from experimental measurements. Examples of numerical rotor models verification based on experimental modal tests results can be found in papers [1-3]. In the absence of experiment data, the initial verification of numerical beam rotor model can be performed on the base of more detailed FEM model. A general principle of rotor model creation consists in simplification of its design scheme (all small elements that don't influence on stiffness of its main load frame are omitted) and its further discretization (only parts included in its main load frame structure are modeled).

The present paper describes an example of model verification for LP rotor of high bypass aero engine built in DYNAMICS R4. The initial beam rotor model of its main load frame structure successfully reproduces first 4 ordinal bending mode shapes (free-free) of similar solid non-rotating free supported rotor model built in FEM software, however for a number of forms a significant difference in frequencies was detected. Conversion of thin-wall elements of rotor model from beam to shell type allowed to improve convergence with results of solid rotor model, but for modes 2 and 3 still a significant difference was observed. Analysis of deformation patterns obtained for solid rotor model for those shapes revealed rotor parts with significant deformation zones. Comparative calculations performed for specially prepared models in FEM and DYNAMICS R4 had shown that moment stiffness coefficients of the beam model for cone of the turbine shaft were almost twice higher than those of the FEM model. The full stiffness matrix obtained from results of FEM calculations for this part of rotor was integrated in beam rotor model. A refined beam rotor model showed a significantly better agreement by frequencies and mode shapes with similar FEM rotor model.

References:

1. Vance J. M., Murphy B. T., Tripp H. A. Critical speeds of turbomachinery: Computer predictions vs. experimental measurements. //Proceedings of the 13th Turbomachinery Symposium. – Texas A&M University. Turbomachinery Laboratories, 1984.

2. Pirogova N. S., Taranenko P. A. Computational and experimental analysis of natural frequencies and critical speeds and mode shapes of high-speed microgasturbine engine. //Herald of South-Ural State University. Mechanical engineering series. – 2015. – Vol. 15. – №. 3.

3. Shaposhnikov K, Gao C. Problems of rotordynamic modeling for built-up gas turbine rotors with central tie rod shaft. //International Conference on Rotor Dynamics. – Springer, Cham, 2018. – С. 250-264.

Разработка методики многодисциплинарной оптимизации рабочих лопаток вентилятора газотурбинного двигателя

Шевяков А.О., Равикович Ю.А., Архипов А.Н.
МАИ, г. Москва, Россия

В процессе совершенствования элементов газотурбинных двигателей (ГТД) большое внимание уделяется аэродинамическому совершенству вентиляторных ступеней [1]. Таким образом, для обеспечения конкурентных преимуществ ГТД, требуется проведение многодисциплинарной оптимизации рабочих лопаток вентилятора с учетом производственных отклонений.

Постановка задачи оптимизации предусматривает: выбор способа задания геометрии объекта и его параметризация, выбор варьируемых переменных и определение диапазона их изменения, выбор критериев оптимизации и определение их ограничений.

Исходные данные при разработке методики оптимизации:

• Номинальная модель лопатки.

• Модель рабочей лопатки для прочностных расчетов, представляющая собой сектор рабочего колеса с изменяемым пером «холодной» лопатки.

• Модель рабочей лопатки для аэродинамических расчетов, представляющая собой двухканальную геометрию проточной части с изменяемым пером «горячей» лопатки.

• Допустимые значения расчетных параметров: предельные значения статических напряжений и перемещений, ограничения по частоте собственных колебаний, значения КПД, степени повышения давления, расхода воздуха и тяги двигателя.

Основные этапы решения задачи оптимизации:

• Определение основных производственных отклонений геометрии пера (результаты контрольно-измерительных мероприятий изготовленных лопаток).

• Построение параметрических моделей для прочностных и аэродинамических расчетов.

• Проведение прочностных расчетов для оценки напряжений, максимальных перемещений, а также критических частот колебаний. Обработка и анализ результатов, для последующего сравнения полученных параметров с допустимыми значениями [2].

• Проведение аэродинамических расчётов для оценки КПД, степени повышения давления, расхода воздуха и тяги двигателя. Обработка и анализ результатов, для последующего сравнения полученных параметров с допустимыми значениями [3].

• Оптимизация с использованием программного комплекса IOSO:

- Корректировка расчетной модели, граничных условий, повторное проведение расчетных исследований, обработка и анализ результатов.
- Оптимизационные исследования и аппроксимация данных.
- Анализ результатов оптимизации.

Разработанная методика многодисциплинарной оптимизации сложно-профильных рабочих лопаток вентилятора ГТД позволяет решать задачи оптимизации с учетом технологических погрешностей изготовления лопаток на практике, с последующим совершенствованием процедуры сборки для получения высокоэффективных и устойчивых, к изменению режимов работы, вентиляторных ступеней.

Литература:

1. Shmotin Y.N., Chupin P.V., Tomilina T.V., Robust Optimization of a Single-Stage Fat Using Response Surface. Proceedings of the 2nd International Conference on Engineering Optimization. 2010.
2. Архипов А.Н., Волгина М.В., Матушкин А.А., Равикович Ю.А., Холобцев Д.П., Анализ влияния геометрических отклонений рабочих лопаток вентилятора на прочностные характеристики. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2019. № 4. С. 9-16.
3. Arkhipov, A., Bugryashova, E., Ravikovich, Y., Kholobtsev, D., & Shevyakov, A., Analysis of the geometric deviation influence on the aerodynamic characteristics of the fan blades. Amazonia Investiga, 8(22), 443-452.

Development of a methodology for multidisciplinary optimization of the fan blades of a gas turbine engine

Shevyakov A.O., Ravikovich Yu.A., Arkhipov A.N.
MAI, Moscow, Russia

In the process of improving the elements of gas turbine engines (GTE), much attention is paid to the aerodynamic perfection of the fan stages [1]. Thus, in order to ensure the competitive advantages of the GTE, multidisciplinary optimization of the fan blades is required, taking into account production deviations.

The formulation of the optimization problem provides: the choice of a method for specifying the geometry of an object and its parameterization, the choice of variable variables and the determination of the range of their changes, the choice of optimization criteria and the determination of their limitations.

Initial data in the development of optimization methodology:

• Nominal blade model.

• A model of the fan blade for strength calculations, which is a sector of the impeller with a variable feather of the «cold» blade.

• A model of the fan blade for aerodynamic calculations, which is a two-channel geometry of the flow part with a variable pen of the «hot» blade.

• Permissible values of design parameters: limit values of static stresses and displacements, limits on the frequency of natural oscillations, efficiency values, the degree of pressure increase, air flow and engine thrust.

The main stages of solving the optimization problem:

• Determination of the main production deviations of the airfoil geometry (results of control and measurement measures of manufactured blades).

• Construction of parametric models for strength and aerodynamic calculations.

• Carrying out strength calculations to assess stresses, maximum displacements, as well as critical oscillation frequencies. Processing and analysis of the results, for subsequent comparison of the obtained parameters with acceptable values [2].

• Carrying out aerodynamic calculations to assess the efficiency, the degree of pressure increase, air flow and engine thrust. Processing and analysis of the results, for subsequent comparison of the obtained parameters with acceptable values [3].

• Optimization using the IOSO software package:

- Correction of the computational model, boundary conditions, repeated conduct of computational studies, processing and analysis of the results.
- Optimization studies and data approximation.
- Analysis of optimization results.

The developed methodology of multidisciplinary optimization of complex-profile fan blades of the GTE allows solving optimization problems taking into account technological errors in the manufacture of blades in practice, with subsequent improvement of the assembly procedure to obtain highly efficient and resistant to changes in operating modes, fan stages.

References:

1. Shmotin Yu., Chupin P., Tomilina T. Robust optimization of single-stage fat using the response surface. Materials of the 2nd International Conference on Engineering Optimization. 2010.
2. Arkhipov A., Volgina M., Matushkin A., Ravikovich Yu., Kholobtsev D., Analysis of the influence of geometric deviations of the fan blades on strength characteristics. News of higher educational institutions. Aviation equipment. 2019. No. 4. pp. 9-16.
3. Arkhipov A., Bugryashova E., Ravikovich Yu., Kholobtsev D., Shevyakov A. Analysis of the influence of geometric deviations on the aerodynamic characteristics of fan blades. Amazon Investigation, 8(22), 443-452.

Исследование параметров и разработка конструкции регулируемых сопловых аппаратов турбин в авиационных ТВД (ТВлД) и энергетических ГТУ

Шеметовец А.А., Нестеренко В.Г.
МАИ, г. Москва, Россия

Регулирование турбины путем поворота лопаток соплового аппарата с целью раскрытия площади межлопаточного канала позволит авиационным двигателям обеспечивать большую мощность без использования тепловой раскрутки, характеризуемой увеличением температуры газа перед турбиной. Эта методика позволяет существенно повысить ресурс ГТД, что исключительно актуально как для отечественных, так и иностранных проектировщиков ГТД. Кроме того, реализация таких конструкций актуальна также в связи с имеющимся в настоящее время увеличением затрат на топливо, вследствие роста его стоимости.

Представлены результаты термогазодинамического анализа различных ГТД и ГТУ, в результате которого были определены требуемые величины углов поворота лопаток соплового аппарата. Они в большой степени зависят от величины исходного угла выхода газа из соплового аппарата турбины. Так, например, при малых величинах этого угла и потребный угол поворота небольшой, что упрощает реализацию конструкции, поскольку расход газа и мощность турбины изменяются пропорционально площади проходного сечения соплового аппарата.

Наиболее трудно реализуемой задачей в этой методике являлась её конструктивная часть, обеспечение практически полного отсутствия радиального зазора над торцами корневого и периферийного профиля пера лопатки при его повороте. Эта задача решалась путем выполнения плоской формы прилегающих к поворачиваемым профилям кольцевых участков статора, с внутренней и внешней сторон пера лопатки. Кроме того, в данной конструкции предполагается использовать имеющуюся в турбине газогенератора ТРДД SAM 146 систему оптимизации диаметральных размеров корпуса турбины газогенератора, обеспечивающую его принудительное охлаждение, с целью получения минимальных радиальных зазоров между корпусом и торцами рабочих лопаток турбины.

В настоящее время разрабатываются авиационные ГТД с переменным рабочим процессом, иностранные и отечественные. Например, в трёхконтурном ТРДДф США GE 120 третий контур открывается на крейсерском режиме полёта летательного аппарата. В заключение выполненного исследования показано, как регулирование турбины ГТД путём поворота лопаток соплового аппарата позволяет расширить диапазон устойчивой работы компрессора и облегчить запуск двигателя.

1. Солонин В.И., Палкин В.А.// Программы США по разработке принципиально новых технологий для двигателей шестого поколения военной авиации (обзор) Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, г. Москва Авиационные двигатели l 4 (5) l 2019. с. 65-69.
2. Norris G. Engines of Change: New Development Engine Designations Herald Adaptive Era for U.S. Airforce Future
Fighters // Aviation Week & Space Technology. 2017. Vol. 179. No. 10. P. 20–21.
3. Ревзин Б.С. Обеспечение переменных режимов двигателей с регулируемой свободной турбиной и блокированных ГТД / Б.С. Ревзин, О.В. Комаров, А.В. Рожков // Газотурбинные технологии. 2005. №2. с.32-34.

4. Емельянов Н.Э. Карышев А.К. Особенности применения регулируемого соплового аппарата в силовой турбине гту // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук 2017 3-3. с.48-51.

Research of parameters and design development of adjustable turbine nozzle units in aviation turboshaft gas turbine engines and gas turbine power plants

Shemetovets A.A., Nesterenko V.G.
MAI, Moscow, Russia

Regulation of the turbine by turning the blades of the nozzle apparatus in order to open the area of the inter-blade channel will allow aircraft engines to provide more power without using thermal promotion, characterized by an increase in the temperature of the gas in front of the turbine. This technique allows to significantly increase the life of the gas turbine engine, which is extremely important for domestic and foreign gas turbine designers. In addition, the implementation of such structures is also relevant due to the current increase in fuel costs, due to the increase in its cost.

The results of thermodynamic analysis of various GTE and power plants are presented, as a result of which the required values of the rotation angles of the nozzle blades were determined. They largely depend on the magnitude of the initial angle of gas exit from the turbine nozzle apparatus. So, for example, with small values of this angle and the required angle of rotation is small, which simplifies the implementation of the design, since the gas consumption and turbine power vary proportionally to the area of the flow section of the nozzle apparatus.

The most difficult task in this method was its design ensuring the almost complete absence of radial clearance over the ends of the root and peripheral profile of the blade feather when it is turned. This problem was solved by performing a flat shape of the annular sections of the stator adjacent to the rotated profiles, from the inner and outer sides of the blade pen. In addition, in this design, it is proposed to use the system available in the SaM 146 high pressure turbine to optimize the diametrical dimensions of the turbine body, providing its forced cooling, in order to obtain minimum radial gaps between the body and the ends of the turbine blades.

Currently, aviation gas turbine engines with variable workflow, foreign and domestic, are being developed. For example, in the three-circuit US GE 120 turbofan, the third circuit opens on the cruising flight mode of the aircraft. In conclusion, the study shows how the regulation of the turbine by turning the blades of the nozzle apparatus allows to expand the range of stable operation of the compressor and facilitate the start of the engine.

Исследование пространственных распределений параметров плазмы в струе экспериментального образца СПД-70В, работающего на криптоне

Шилов Е.А., Баранов С.В., Ким В.П., Мельников А.В., Меркурьев Д.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Мировая тенденция перехода на использование альтернативных ксенону рабочих веществ в электроракетных двигателях определяет актуальность проведения исследований в области разработки СПД, работающих на криптоне. При этом важное значение как в научном, так и в прикладном плане имеют исследования струй таких двигателей, направленные на изучение процессов ионизации подаваемого в двигатель потока рабочего вещества (РВ) и формирования потоков ускоренных ионов, протекания вторичных процессов, а также на оценку потерь тяговой эффективности вследствие неполной ионизации РВ, частичного использования напряжения разряда для ускорения ионов, наличия расходимости плазменной струи и разброса ионов по скоростям [1].

В НИИ ПМЭ МАИ был разработан экспериментальный образец СПД-70В (ЭО СПД-70В, с наружным диаметром ускорительного (рабочего) канала 70 мм и вынесенным из его конструкции слоем ионизации и ускорения (СИУ). Исследование его интегральных характеристик и скорости эрозии элементов его конструкции при работе на криптоне показали перспективность разработки летных образцов двигателей на основе ЭО СПД-70В. Поэтому следующим этапом стало исследование параметров плазмы и направленных потоков ионов в струе этого двигателя, позволившие определить пространственные распределения плотности

тока ускоренных ионов, потенциала и концентрации плазмы, температуры электронов и энергии ионов. Измерения проводились с помощью цилиндрического зонда и электростатического энергоанализатора, которые могли перемещаться по радиусу в плоскости оси двигателя на 180 градусов (на 90 градусов в каждую сторону относительно оси двигателя).

Результаты экспериментов позволили оценить полный ток ионов, который составил ~3,9 А при работе ЭО СПД-70В с разрядным напряжением 300 В, разрядным током 4,5 А и при расходе криптона через рабочий канал ~4,3 А. При этом отношение полного ионного тока к соответствующему «расходному» току, рассчитанному по потоку атомов криптона в предположении их однократной ионизации, составило ~0,75, что несколько ниже, чем при использовании ксенона. Это объясняется тем, что ксенон имеет лучшие ионизационные характеристики. Средняя энергия ионов максимальна в приосевой части потока и составляет 200-240 эВ, что близко к получаемым значениям в двигателях, работающих на ксеноне. Оценка полуугла расходимости потока ускоренных ионов дала значение около 58 градусов, что несколько больше, чем при использовании ксенона (например, в двигателе типа СПД-100 полуугол расходимости составляет около 45 градусов) [2].

Сопоставление распределений плотности тока ускоренных ионов и концентрации ионов свидетельствует о том, что в ядре струи (при углах отклонения от оси не более 40 градусов) концентрация в основном определяется потоком ускоренных ионов. Распределения потенциала плазмы и температуры электронов в целом аналогичны получаемым на ксеноне. Максимальные их значения достигаются в пределах углов отклонения направлений измерения до 40 градусов и составляют, соответственно, около 25 В и 2,5 эВ.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке министерства науки и высшего образования Российской Федерации по гранту № 075-15-2021-301 от 19.04.2021.

Литература:

1. Архипов А.С., Ким В., Сидоренко Е.К. Стационарные плазменные двигатели Морозова. М.: МАИ. 2012. 292с.

2. Absalamov S.K., Andreev V.B., Colbert T., Day M.et al. Measurements of Plasma Parameters in the SPT-100 Plume and its effect on Spacecraft Components – paper AIAA 92-3156, 1992.

Study of Spatial Distributions of Plasma Parameters in a Plume of an Experimental Model SPT-70V Operating on Krypton

Shilov E.A., Baranov S.V., Kim V.P., Melnikov A.V., Merkuryev D.V.
MAI, Moscow, Russia

The global trend of transition to the use of propellant alternative to xenon in electric propulsion determines the relevance of research in the development of SPTs operating on krypton. At the same time, studies of plumes of such thrusters, which aim at studying the propellant flow ionization processes supplied to the thruster and the formation of accelerated ion fluxes, the occurrence of secondary processes, as well as assessing the loss of trust efficiency due to the incomplete propellant ionization, the partial use of the discharge voltage to accelerate the ions, the presence of plasma jet divergence, and the spread of ions in velocities, are of great importance both in scientific and applied terms [1].

An experimental model SPT-70V with an outer diameter of the accelerating (working) channel of 70 mm and an ionization and acceleration layer (IAL) taken out of its structure was developed at the RIAME MAI. Therefore, the next step was to study the plasma parameters and directed ion flows in the plume of this thruster, which made it possible to determine the spatial distributions of the current density of accelerated ions, the plasma potential and concentration, the electron temperature and the ion energy. The measurements were carried out using a cylindrical probe and an electrostatic energy analyzer, which could move along the radius in the plane of the thruster axis by 180 degrees.

The experimental results made it possible to estimate the total ion current, which amounted to ~3.9 A during the operation of the EM SPT-70V with a discharge voltage of 300 V, a discharge current of 4.5 A, and a krypton consumption through the working channel of ~4.3 A. In this case, the ratio of the total ion current to the corresponding “expenditure” current calculated from the flux of krypton

atoms under the assumption of their single ionization was ~0.75, which is somewhat lower than when using xenon. This is due to the fact that xenon has better ionization characteristics. The average ion energy is maximum in the axial part of the flow and is 200–240 eV, which is close to the values obtained in thrusters operating on xenon. An estimate of the divergence half-angle of the accelerated ion flux gave a value of about 58 degrees. [2].

Comparison of the distributions of the current density of accelerated ions and the ions concentration indicates that in the core of the plume (at angles of deviation from the axis no more than 40 degrees) the concentration is mainly determined by the flux of accelerated ions. The distributions of the plasma potential and electron temperature are on the whole similar to those obtained for xenon. Their maximum values are achieved within the angles of deviation of the measurement directions up to 40 degrees and are, respectively, about 25 V and 2.5 eV.

This work was supported by The Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under grant No. 075-15-2021-301 from April 19, 2021.

References:

1. Arhipov A.S., Kim V., Sidorenko E.K. Statsionarnye plazmennye dvigateli Morozova. M.: MAI. 2012. 292 p.

2. Absalamov S.K., Andreev V.B., Colbert T., Day M.et al. Measurements of Plasma Parameters in the SPT-100 Plume and its effect on Spacecraft Components – paper AIAA 92-3156, 1992.

Проблемы повышения эффективности и работоспособности перспективных ТРДДФ

Юсипов Б.Х., Нестеренко В.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

Представлены показатели характерных параметров и особенности конструкции ТРДДф, показывающие необходимость совершенствование уровня их надёжности, в частности, возможные пути улучшения показателей безотказности, путем разработки новых, более эффективных схем и конструкций, применяемых материалов и технологии изготовления современных и перспективных ТРДДф. Рассматриваются показатели надёжности, наработка на отказ, на досрочное снятие двигателя с самолета, а также на отказ в полете, которые являются наиболее важными параметрами, включая показатели ресурса, работоспособности и повреждаемости ТРДДф. Отдельной темой данной работы является проблема совершенствования уровней контроля работоспособности и допустимых повреждений «горячих» узлов ТРДДф во время проведения их испытаний, доводки и эксплуатации. Представлены примеры результативности исследований повреждений высокотемпературных деталей и сборочных единиц, требований к повышенному уровню жесткости и снижения вибрации, пути совершенствования конструкции перспективных ТРДДф и параметров их воздушных и масляных систем. Как известно, надежность и безотказность ТРДДф закладывается при проектировании, отрабатывается на стадии доводки, обеспечивается в серийном производстве и реализуется в эксплуатации. Здесь подробно рассмотрен важнейший этап создания ТРДДф — проектирование их конструкций с повышенным ресурсом и увеличенной наработкой на отказ в реальных условиях эксплуатации. Исследован перечень типовых повреждений, возникающих в современных конструкциях ТРДДф, и проанализированы пути их предотвращения в новых разработках. Известно, что методология конструирования перспективных конструкций узлов ТРДДф охватывает множество проблем, связанных с решением большого числа задач газодинамики и прочности, обеспечения необходимого уровня температурного состояния, технологии изготовления проекта и т.д. Очевидно, что необходимо не последовательно, а одномоментно и в комплексе оптимизировать основные газодинамические и конструктивные параметры, решения прочностных и тепловых задач, с учётом требований перспективной технологии их изготовления и использования новых материалов и покрытий. Это наиболее сложная задача, решение которой обеспечивает высокое качество проектирования и доводки новых и модернизируемых ТРДДф. При этом важно уметь сочетать необходимый объем теоретических исследований и экспериментальных работ, объективно оценивать эффективность всех нововведений, поскольку условия проектных задач, как правило, бывают

весьма противоречивыми. Применяемые в настоящее время теоретические методы для выявления и прогнозирования критических состояний узлов и деталей конструкций ТРДДф пока еще недостаточно эффективны. Конструктор чаще всего вынужден полагаться на большое число специальных испытаний отдельных узлов, деталей и двигателя в целом, стендовых и лётных. Поэтому такой показатель надёжности, как безотказность, характеризующий наработку на отказ и рассчитываемый по соотношению времени эксплуатации к общему количеству отказов, является наиболее информативным и подлежащим постоянному совершенствованию.

Problems of increasing the effectiveness and efficiency of modern and promising turbofan engines

Yusipov B.H., Nesterenko V.G.
MAI, Moscow, Russia

Presented indicators of characteristic parameters and design features of turbofan engines are showing the need to improve their reliability, in particular, possible ways to improve reliability indicators by developing new, more efficient schemes and designs, materials used and manufacturing technology of modern and promising turbofan engines. Reliability indicators, operating time for failure, for early removal of the engine from the aircraft, as well as for failure in flight, which are the most important parameters, including indicators of resource, operability and damage to turbofan engines, are considered. A separate topic of this work is the problem of improving the levels of performance control and permissible damage to "hot" turbofan units during their testing, debugging and operation. Examples of the effectiveness of studies of damage to high-temperature parts and assembly units, requirements for an increased level of rigidity and vibration reduction, ways to improve the design of promising turbofan engines and the parameters of their air and oil systems are presented. As is known, the reliability and faultlessness of turbofan engines is laid down during design, is worked out at the stage of fine-tuning, is provided in serial production and is implemented in operation. The most important stage of the creation of turbofan engines is considered in detail here — the design of their structures with an increased resource and increased operating time for failure in real operating conditions. The list of typical damages arising in modern turbofan designs is investigated, and ways of their prevention in new developments are analyzed. As is known, the methodology of designing promising turbofan engine assembly structures covers many problems related to solving a large number of problems of gas dynamics and strength, ensuring the necessary level of temperature condition, manufacturing technology of the project, etc. It is obvious that it is necessary not sequentially, but simultaneously and in a complex to optimize the main gas dynamic and structural parameters, solutions of strength and thermal problems, taking into account the requirements of the promising technology of their manufacture and the use of new materials and coatings. This is the most difficult task, the solution of which ensures high quality design and refinement of new and upgraded turbofan engines. At the same time, it is important to be able to combine the necessary amount of theoretical research and experimental work, objectively evaluate the effectiveness of all innovations, since the conditions of project tasks generally are very contradictory. The theoretical methods currently used to identify and predict critical states of turbofan components and parts are still not effective enough. The designer is most often forced to rely on a large number of special tests of individual components, parts and the engine in general, bench and flight. Therefore, such a reliability indicator as faultlessness, which characterizes the operating time for failure and is calculated by the ratio of operating time to the total number of failures, is the most informative and subject to continuous improvement.

3. Системы управления, информатика и электроэнергетика

3. Control systems, informatics and power engineering

Особенности разработки нейронных сетей для беспилотных ЛА

Алещенко А.С., Махова Ю.В., Рыженков А.М.
МАИ, г. Москва, Россия

В данной статье рассматриваются особенности разработки нейронных сетей для задач с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), которые основаны на компьютерном зрении: классификация, детекция и сегментация изображений.

Описываются преимущества рассматриваемого подхода, среди которых выделяют высокую скорость работы обученной нейронной сети, а также снижение влияния человеческого фактора на результат выполнения задачи благодаря обучаемости модели.

Среди недостатков разработки нейронной сети существенным считается составление большого набора данных, необходимого для обучения, а именно использование изображений одной точки местности при разных погодных условиях, освещённости и углу съёмки [1]. Обучение производится на производительных вычислительных системах.

Выделяются особенности аппаратного обеспечения вычислительного комплекса БПЛА, а также применение векторных процессоров или дополнительных тензорных ускорителей [2-3].

Рассматривается использование алгоритмов предобработки изображений, с помощью которых возможно повысить производительность работы нейронной сети. Также выделяются способы повышения точности вычислений благодаря методам, работающим параллельно с нейронной сетью [4].

Литература:

1. Отберем то, что нужно Data Mining: как сформировать датасет для машинного обучения [Электронный ресурс] / URL: https://www.bigdataschool.ru/blog/dataset-data-preparation.html (Дата обращения: 10.09.2022).

2. Google Coral TPU [Электронный ресурс] / URL: https://coral.ai/ (Дата обращения: 12.09.2022).

3. Intel® Movidius™ Neural Compute Stick [Электронный ресурс] / URL: https://movidius.github.io/ncsdk/ncs.html (Дата обращения: 12.09.2022).

4. R. Varun, Y. Vivekanand Kini, K. Manikantan, S. Ramachandran Face Recognition Using Hough Transform Based Feature Extraction. [Электронный ресурс] / URL: https://www.researchgate.net/publication/275720905_Face_Recognition_Using_Hough_Transform_Based_Feature_Extraction (Дата обращения: 15.09.2022)

Features of neural netwoks development for unmanned aerial vehicles

Aleschenko A.S., Makhova Y.V., Ryzhenkov A.M.
MAI, Moscow, Russia

This article describes the features of the development of neural networks for tasks using unmanned aerial vehicles (UAVs) which are based on computer vision: classification, detection and segmentation of images.

It describes advantages of considered approach where are the high performance of trained neural network and also the reduction of the influence of human error on the result of the task due to the learnability of the model take the leading position.

Among disadvantages of the development of neural networks one of the most essential is the large dataset compilation what is necessary for its' training. The dataset consists of lots of images of the one point of terrain under different weather conditions, illuminations and shooting angles [1]. The training is performed out by powerful computing systems.

Some features of hardware of the UAVs' computing complex are highlighted in this article and also the usage of vector coprocessors and additional tensor processor units [2-3].

This article describes the usage of preprocessing imagery algorithms which can increase the performance of neural network. The methods of precision increasement based on parallel work with the neural network are also highlighted there [4].

References:

1. Отберем то, что нужно Data Mining: как сформировать датасет для машинного обучения [Электронный ресурс] / URL: https://www.bigdataschool.ru/blog/dataset-data-preparation.html (Дата обращения: 10.09.2022).

2. Google Coral TPU [Электронный ресурс] / URL: https://coral.ai/ (Дата обращения: 12.09.2022).

3. Intel® Movidius™ Neural Compute Stick [Электронный ресурс] / URL: https://movidius.github.io/ncsdk/ncs.html (Дата обращения: 12.09.2022).

4. R. Varun, Y. Vivekanand Kini, K. Manikantan, S. Ramachandran Face Recognition Using Hough Transform Based Feature Extraction. [Электронный ресурс] / URL: https://www.researchgate.net/publication/275720905_Face_Recognition_Using_Hough_Transform_Based_Feature_Extraction (Дата обращения: 15.09.2022).

Информационная система автоматизированного тестирования пользовательского интерфейса веб-сайтов

Андреев П.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Объектом автоматизации является процесс тестирования. Тестирование – это один из главных шагов на пути к качественному продукту. Тестирование программного обеспечения – это проверка соответствия между реальным и ожидаемым поведением программы, осуществляемая на конечном наборе тестов, выбранном определенным образом. В более широком смысле, тестирование – это одна из техник контроля качества, включающая в себя действия по планированию работ (Test Management), проектированию тестов (Test Design), выполнению тестирования (Test Execution) и анализу полученных результатов (Test Analysis).

Для успешной работы и занятия уверенных позиций на рынке компания должна иметь качественный и стабильный продукт, поставки новых версий должны осуществляться в срок, а существующие ошибки должны быть в кротчайшие сроки обнаружены, описаны и устранены.

Поэтому тестирование является одним из важнейших этапов разработки. И занимает большую часть времени, особенно регрессионное тестирование, когда при поставке новой версии продукта нужно протестировать основной функционал на наличие ошибок, связанных с новыми доработками. Это монотонный и трудоёмкий процесс, который можно и нужно автоматизировать.

Автоматизированная система и созданная к ней программная оболочка позволит создавать скрипты, которые вместо человека будут проводить тестирование сайта, генерировать отчеты о проходах, собирать информацию и составлять статистику. Все отчеты и статистика будут передаваться на специальный сервис, где сотрудники смогут за этим следить.

В числе преимуществ такой автоматизированной системы является значительная экономия времени, исключение ошибок при подсчетах, обусловленных человеческим фактором, а также удобство и надежность хранения информации.

В ходе работы было проведено исследование существующих решений и их анализ. Также была произведена оценка эффективности рассмотренных решений, что позволило сделать выбор в пользу одного из них. Далее в ходе работы над выбранным решением планируется его модификация, улучшение и оптимизация под конкретные наборы задач.

В разрабатанной информационной системе реализованы следующие функции:

1) Генерация отчетов о прохождение автотестов.

2) Возможность планирования графиков автономных запусков.

3) Создание новых скриптов на основе уже существующих.

4) Возможность форматировать описание шагов скрипта на русском языке.

5) Функционал для работы с базами данных.

6) Функционал для работы с селениумом.

Литература:

1. Официальный сайт общедоступной интернет-энциклопедии «Википедия» https://ru.wikipedia.org/wiki/ Тестирование_программного_обеспечения.

2. Официальный сайт образовательно-новостного ресурса «Hubr» https://habr.com/ru/post/160257/.

3. Федорова Г.Н., Информационные системы [Текст] / М. Академия, 2013. – 5 с.

Information system for automation website user interface

Andreev P.I.

MAI, Moscow, Russia

The object of automation is the testing process. Testing is one of the main steps on the way to a quality product. Software testing is a check of the conformity between the actual and expected behavior of the program, carried out on a finite set of tests chosen in a certain way. In a broader sense, testing is one of the quality control techniques, which includes the activities of planning work (Test Management), designing tests (Test Design), testing (Test Execution) and analyzing the results (Test Analysis).

In order to work successfully and take a confident position in the market, a company must have a high-quality and stable product, new versions must be delivered on time, and existing errors must be detected, described and eliminated as soon as possible.

Therefore, testing is one of the most important stages of development. And it takes most of the time, especially regression testing, when delivering a new version of the product, you need to test the main functionality for errors associated with new improvements. This is a monotonous and time-consuming process that can and should be automated.

The automated system and the software shell created for it will allow you to create scripts that, instead of a person, will test the site, generate reports on passes, collect information and compile statistics. All reports and statistics will be transferred to a special service where employees can follow it.

Among the advantages of such an automated system are significant time savings, the elimination of errors in calculations due to the human factor, as well as the convenience and reliability of information storage.

In the course of the work, a study of existing solutions and their analysis was carried out. The effectiveness of the considered solutions was also evaluated, which made it possible to make a choice in favor of one of them. Further, in the course of work on the chosen solution, it is planned to modify, improve and optimize it for specific sets of tasks.

The following functions are implemented in the developed information system:

1) Generation of reports on the passage of autotests.

2) Possibility of scheduling autonomous launches.

3) Creation of new scripts based on existing ones.

4) Ability to format the description of the steps of the script in Russian language.

5) Functionality for working with databases.

6) Functionality for working with selenium.

References:

1. The official website of the public Internet encyclopedia "Wikipedia" https://ru.wikipedia.org/wiki/Software_testing.

2. The official website of the educational and news resource "Hubr" https://habr.com/en/post/160257/.

3. Fedorova G.N., Information systems [Text] / M. Academy, 2013. - 5 p.

Прогнозное моделирование оптимальной загрузки технологического оборудования производства БПЛА

Андрюхин Н.Д., Кузнецов П.М.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

В условиях возросшей потребности в производстве отечественных беспилотных летательных аппаратов появилась задача в оптимальном распределении производственных мощностей профильных предприятий. В текущих условиях важно учесть не только появившуюся потребность во внедрении новых технологических процессов предприятия в уже существующие производственные процессы, но и необходимость значительного повышения производительности всей производственной системы. А значит необходимо обеспечить оптимальную загрузку и работу оборудования на каждом этапе производства с учетом всех особенностей и стохастических параметров производственной системы предприятия.

Учитывая технологические, экономические и производственные особенности и разобщенность каждого предприятия, сформировать обобщённый и при этом эффективный экономический подход с целью повышения качества планирования загрузки оборудования не представляется возможным. Учесть все особенности, в том числе и хаотические факторы, возникающие на производстве, чтобы актуализировать предложенный технико-экономический подход возможно лишь только экспериментальным путем. Однако, проведение натурных экспериментов над производством не желательно и не эффективно, в связи с чем, оптимальный подход – применение имитационного моделирования.

Принимая во внимание специфику авиационных производств, а именно возможную удалённость заготовительных и сборочных предприятий друг от друга наиболее эффективным представляется формирование единого центра по интеграционному моделированию производственных мощностей всех предприятий, входящих в цикл производства и как итог – разработки для них рекомендаций по оптимизации загрузки оборудования и повышению общей производительности при выпуске БПЛА.

Неотъемлемой частью такого подхода станет применение промышленного интернета вещей для сбора данных об оборудовании и передачи их в центр моделирования. Подобный подход позволяет учесть не только предшествующие и сопутствующие данные по оценке эффективности загрузки оборудования, но и данные, возникающие непосредственно в процессе производства. Как итог, выявить узкие места, возникающие при разных условиях работы производственной системы и повысить уровень загрузки оборудования как за счет оптимального распределения производственных заказов по рабочим местам, так и за счет выявления и внедрения оптимальных режимов работы оборудования.

Predictive modeling of optimal loading of technological equipment for UAV production

Andriukhin N.D., Kuznetsov P.M.
BMSTU, Moscow, Russia

In the conditions of increased demand for the production of domestic unmanned aerial vehicles, the task of optimal distribution of production capacities of specialized enterprises has appeared. In the current conditions, it is important to take into account not only the emerging need for the introduction of new technological processes of the enterprise into existing production processes, but also the need to significantly increase the productivity of the entire production system. This means that it is necessary to ensure optimal loading and operation of equipment at each stage of production, taking into account all the features and stochastic parameters of the enterprise's production system.

Taking into account the technological, economic and production features and the disunity of each enterprise, it is not possible to form a generalized and at the same time effective economic approach in order to improve the quality of equipment loading planning. It is possible to take into account all the features, including chaotic factors that arise in production, in order to actualize the proposed technical and economic approach only experimentally. However, conducting field experiments on production is not desirable and not effective, and therefore, the optimal approach is the use of simulation modeling.

Taking into account the specifics of aviation production, namely the possible remoteness of procurement and assembly enterprises from each other, the most effective is the formation of a single center for integration modeling of production capacities of all enterprises included in the production cycle and, as a result, the development of recommendations for them on optimizing equipment loading and increasing overall productivity when producing UAVs.

An integral part of this approach will be the use of the industrial Internet of Things to collect data about equipment and transfer them to the modeling center. This approach allows us to take into account not only the previous and related data on the assessment of the efficiency of equipment loading, but also data arising directly in the production process. As a result, it is necessary to identify bottlenecks that arise under different operating conditions of the production system and increase the level of equipment utilization both due to the optimal distribution of production orders to workplaces, and due to the identification and implementation of optimal operating modes of equipment.

Разработка проводящих чернил для 3D-печати

Базанова Е.С., Горелов А.О.
МАИ, г. Москва, Россия

В современном мире печатные платы используются практически во всех электронных изделиях и устройствах. Увеличение сложности этих изделий приводит к увеличению плотности сборки электронных компонентов. Что, учитывая требования по уменьшению массы и стоимости изделий, приводит к развитию аддитивных технологий, в частности 3D-печати [1][2].

Несмотря на то, что печать диэлектрических подложек хорошо изучена, печать проводящими материалами сопряжена с рядом трудностей. Требования к высокой температуре спекания чернил на основе металлических наночастиц были ограничивающим фактором для печатной электроники, поскольку подложка может претерпевать изменения размеров в процессе спекания, что приводит к расслаиванию, растрескиванию и т. д. Таким образом, высокая проводимость и низкая температура спекания всегда была в центре внимания исследований.

В данной работе рассматривается технология печати проводящими чернилами, содержащими наночастицы серебра. Проанализировав другие работы, исследующие печать чернилами на основе ацетата серебра, была подобрана методика, дающая наименьшее удельное сопротивление материала. Были выявлены зависимости между проводимостью напечатанных чернилами дорожек и условиями изготовления и нанесения чернил. Поскольку при экспериментах использовался метод термического спекания серебра, основными факторами, влияющими на проводимость, являются температура и время спекания. В работе рассмотрены режимы термического спекания использующие температуры 120-160 °C и периоды времени от 10 до 30 минут.

Также рассматривается выбор шприцевых гидрофобных фильтров для фильтрации чернил перед их применением, так как для образования качественного покрытия важен размер наночастиц серебра. Для определения толщины и равномерности наносимого слоя чернил использовались микрошлифы. Результатом проведенных экспериментов являются зависимости, позволяющие оптимизировать методику синтеза и нанесения чернил.

1. Application of 3d Printing Technologies in the Production of Printed Modules Gorelov A. В сборнике: Proceedings - ICOECS 2021: 2021 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems. 2021. С. 541-544.

2. Аддитивные технологии в печатных платах Васильев Ф.В., Горелов А.О. В книге: 18-я Международная конференция "Авиация и космонавтика - 2019". Тезисы. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). 2019. С. 83.

Development of conductive inks for 3D printing

Bazanova E.S., Gorelov A.O.
MAI, Moscow, Russia

In the modern world, printed circuit boards are used in almost all electronic products and devices. The increase in the complexity of these products leads to an increase in the assembly density of electronic components. Which, given the requirements to reduce the weight and cost of products, leads to the development of additive technologies, in particular 3D printing [1][2].

Despite the fact that the printing of dielectric substrates is well studied, printing with conductive materials is associated with a number of difficulties. The requirement for high sintering temperature of metal nanoparticle inks has been a limiting factor for printed electronics because the substrate can undergo dimensional changes during the sintering process, resulting in delamination, cracking, etc. Therefore, high conductivity and low sintering temperature has always been the focus of research.

This paper discusses the technology of printing with silver nanoparticles conductive ink. An analysis of other works describing printing with silver ink shows that the chosen selected technique provides the lowest resistivity of the material. The experiments showing correlation between the conductivity of ink-printed tracks and the conditions for manufacturing and applying ink. Since the experiments used the method of thermal sintering of silver, the main factors affecting the conductivity are the temperature and time of sintering. The paper considers thermal sintering modes using temperatures of 120-160 °C and time periods from 10 to 30 minutes. The paper also describes the choice of syringe hydrophobic filters for ink filtration before their use, since the size of silver nanoparticles is important for the formation of a high-quality coating. Microsections were used to determine the thickness and uniformity of the applied ink layer. The results of the experiments are dependences that allow optimizing the method of synthesis and ink application.

1. Application of 3D-Printing Technologies in the Production of Printed Modules Gorelov A. In the collection: Proceedings - ICOECS 2021: 2021 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems. 2021, pp. 541-544.

2. Additive Technologies in Printed Boards Vasiliev F.V., Gorelov A.O. In the book: 18th International Conference "Aviation and Cosmonautics–2019". Abstracts. Moscow Aviation Institute (National Research University). 2019. S. 83.

Актуальность применения генеративного дизайна в авиастроении

Басова А.Н., Харитоненков А.И., Хорошко Л.Л., Волчкова А.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Текущие исследования в области авиастроения направлены на снижение веса самолетов и компонентов, оптимизацию характеристик самолетов и решение проблемы снижения расхода топлива и эксплуатационных расходов. В этой перспективе совершенствование аддитивных технологий породило разработку новых материалов и технологий производства, а также модернизацию методов и инструментов проектирования.

Одной из таких технологий является генеративный дизайн. С помощью применения данной технологии возможно создавать изделия со сложной геометрией для достижения оптимального решения в отношении проектных параметров, требований и ограничений, изменять внутреннюю структуру и оптимизировать форму поверхности детали для уменьшения веса и повышения прочности, а также экономии материалов. Иными словами, генеративный дизайн — процедура, помогающая конструктору широко исследовать пространство всевозможных решений. Он объединяет несколько модулей оптимизации в среде САПР в соответствии с проектными требованиями, ограничениями и ограничивающим пространством. На выходе получается не только наиболее подходящее решение, но и семейство различных результатов, которые проектировщик мог бы правильно выбрать и модифицировать. Пространство решений обычно разрабатывается с учетом произвольной формы: с помощью традиционного подхода к проектированию картина всех возможных альтернатив не получилась бы полной. Кроме того, выбранная форма предназначена для изготовления в процессе аддитивного производства.

Небольшой вес и прочность конструкции раньше были основными задачами проектирования компонентов самолета. В этих рамках разработка надежной процедуры проектирования, включающей принципы генеративного проектирования, могла бы принести значительные улучшения как в характеристиках компонентов, так и в результатах проектирования, а также в сокращении времени проектирования.

The relevance of the application of generative design in the aircraft industry

Basova A.N., Kharitonenkov A.I., Khoroshko L.L., Volchkova A.S.
MAI, Moscow, Russia

Current research in aircraft engineering is focused on reducing the weight of aircraft and components, optimizing aircraft performance, and addressing the issue of reducing fuel consumption and operating costs. In this perspective, the improvement of additive technologies has given rise to the development of new materials and production technologies, as well as the modernization of design methods and tools.

One such technology is generative design. Using this technology, it is possible to create products with complex geometries to achieve the optimal solution in terms of design parameters, requirements and constraints, change the internal structure and optimize the shape of the surface of the part to reduce weight and increase strength, as well as save materials. In other words, generative design is a procedure that helps the designer explore the space of possible solutions widely. It combines several optimization modules in a CAD environment according to design requirements, constraints and bounding space. The output is not only the most suitable solution, but also a family of different results that the designer could correctly select and modify. The decision space is usually designed with an arbitrary shape in mind: using the traditional design approach, the picture of all possible alternatives would not be complete. In addition, the selected shape is intended for manufacturing in the additive manufacturing process.

Light weight and structural strength used to be the main concerns in the design of aircraft components. Within this framework, the development of a robust design procedure incorporating generative design principles could bring significant improvements in both component performance and design results, as well as reduction in design time.

Управление величиной контурной ошибки на металлорежущих станках с ЧПУ

[1]Белоусов Н.А., [2]Кузнецов П.М.
[1]МГТУ им. Н.Э. Баумана, [2]МАИ, г. Москва, Россия

Производство современных, наукоемких изделий для авиакосмической отрасли предъявляет строгие требование не только к повышенной точности металлорежущего оборудования, но также и повышенной производительности, т.е. скорости обработки на этих станках. Таким образом, для производства необходимы металлорежущие станки, сочетающие в себе высокую точность и высокую скорость обработки.

Технологии высокоскоростной обработки требуют высоких скоростей подачи что, как показали исследования, приводит к увеличению ошибок перемещения по каждой оси и, следовательно, нарастанию контурной ошибки при увеличении контурной скорости. Формирование контурной ошибки происходит из-за несогласованного перемещения рабочих органов металлорежущего станка по осям. Контурная ошибка не может быть исключена полностью, и обусловлена динамическими характеристиками линейных приводов станка, однако, величиной контурной ошибки, зная динамические особенности каждого привода, можно управлять в процессе контурной обработки, даже при увеличении контурной скорости.

Основные методы управления контурной ошибкой, такие как «управление отслеживанием по осям» и «контурное управление» не позволяют сохранять контурною точность в заданном диапазоне, при увеличении контурной скорости, поскольку первый метод уменьшает только ошибки каждой оси, что оказывает лишь косвенное воздействие на уменьшение контурной ошибки. Второй метод, уменьшая ошибки контура, не учитывает динамические особенности каждой оси, которые оказывают влияние на точность контурной обработки при увеличении контурной скорости и, следовательно, на величину контурной ошибки.

Разработанный в МГТУ им. Н.Э. Баумана подход, позволил объединить в себе эти два метода с учетом особенностей генерации опорной траектории перемещения. Математические модели и алгоритмы, учитывают не только динамические особенности работы приводов станка, но также и ускорения, и скорости линейных приводов станка на каждом участке траектории. Наибольшие контурные ошибки появляются в местах изломов траектории перемещения, где на линейные приводы подаются так называемые резкие «рывки» ускорения и привод, каждый в отдельности, не мгновенно отрабатывает эти сигналы.

Поскольку контурная ошибка проявляется в большей степени именно в местах, где ускорение не равно нулю, сформированная методика позволяет подавать корректирующие сигналы в систему управления в реальном масштабе времени с целью своевременной реакции системы для управления контурной ошибкой.

Проведенные экспериментальные исследования в лаборатории МГТУ им. Н.Э. Баумана, разработанной модели системы управления, показали эффективность подхода и возможность увеличения контурной скорости без увеличения контурной ошибки до 20%. Выработанный подход окажет существенной влияние на увеличение производительности металлорежущего оборудования.

Control of the amount of contour error on CNC metal cutting machines

[1]Belousov N.A., [2]Kuznetsov P.M.
[1]BMSTU, [2]MAI, Moscow, Russia

The production of modern, high-tech products for the aerospace industry imposes strict requirements for not only increased precision of metal-cutting equipment, but also for increased productivity, i.e. processing speed on these machines. Thus, metal-cutting machines combining high precision and high processing speed are necessary for production.

High-speed processing technologies require high feed rates, which, as studies have shown, leads to an increase in movement errors along each axis and, consequently, an increase in contour error with an increase in contour speed. The formation of a contour error occurs due to the uncoordinated movement of the working bodies of the metal-cutting machine along the axes. Contour error cannot be completely excluded, and is due to the dynamic characteristics of the linear drives of the machine, however, the magnitude of the contour error, knowing the dynamic features of each drive, can be controlled during contour processing, even with an increase in contour speed.

The main methods of contour error control, such as "axis tracking control" and "contour control" do not allow you to maintain contour accuracy in a given range while increasing the contour speed, since the first method reduces only the errors of each axis, which has only an indirect effect on reducing the contour error. The second method, by reducing contour errors, does not take into account the dynamic features of each axis, which affect the accuracy of contour processing with an increase in contour speed and, consequently, the amount of contour error.

The approach developed at the Bauman Moscow State Technical University made it possible to combine these two methods, taking into account the peculiarities of generating a reference trajectory of movement. Mathematical models and algorithms take into account not only the dynamic features of the machine drives, but also the acceleration and speed of the linear drives of the machine at each section of the trajectory. The greatest contour errors appear in places of fractures of the trajectory of movement, where so-called sharp "jerks" of acceleration are applied to linear drives and the drive, each separately, does not instantly work out these signals.

Since the contour error manifests itself to a greater extent precisely in places where the acceleration is not zero, the formed technique allows you to send corrective signals to the control system in real time in order to timely respond to the system to control the contour error.

Experimental studies conducted in the laboratory of the Bauman Moscow State Technical University, the developed model of the control system, showed the effectiveness of the approach and the possibility of increasing the contour speed without increasing the contour error up to 20%. The developed approach will have a significant impact on increasing the productivity of metal-cutting equipment.

Автоматизированная система принятия решения при выполнении оценки внешних повреждений фюзеляжа воздушного судна

Бодрова И.Е.
ФРС ПАО «Корпорация «Иркут», г. Москва, Россия

Безопасность полетов всегда была и остается основой авиационной отрасли. Однако в условиях существующей конкуренции авиакомпании дополнительно принимают во внимание продолжительность временных интервалов, необходимых для обслуживания парка. Из-за особенностей эксплуатации коммерческих воздушных судов, таких как длительный срок их службы, именно задачи технического обслуживания и ремонта (ТОиР) оказывают существенное влияние на бизнес эксплуатирующих организаций. По этой причине внимание отрасли всегда было направлено на разработку и оптимизацию процесса ТОиР, а также на совершенствование мониторинга надежности авиационной техники.

Для решения обозначенных задач рассматривается возможность сокращения времени выполнения ремонта конструкции воздушного судна за счет повышения точности измерений при выполнении оценки повреждений внешней поверхности фюзеляжа. Дополнительным преимуществом при этом является сбор, анализ и хранение полученных данных, которые могут быть использованы для оценки технического состояния авиационной техники. Для достижения поставленной цели необходима разработка цифрового инструментария, позволяющего значительно повысить эффективность определения повреждений внешней поверхности фюзеляжа. Оптимальным решением при этом становится интеграция 3D-сканера, искусственного интеллекта и портала технической поддержки. Несомненным преимуществом является исключение возможности влияния человеческого фактора на принятие решения о выполнении ремонта конструкции воздушного судна.

Целью публикации является формулировка рекомендаций по моделированию процесса обнаружения повреждений внешней поверхности фюзеляжа и контроля надежности авиационной техники в рамках новой цифровой экосистемы ТОиР. В ней представлен краткий анализ точности данных, получаемых при 3D-сканировании, а также предлагаются алгоритмы построения онлайн системы принятия решений с использованием искусственного интеллекта и портала технической поддержки.

Литература:

1. Кирпичев И.Г., Петров Д.В., Чинючин Ю.М. "Многофункциональная интегрированная платформа сопровождения технической эксплуатации воздушных судов", текст научной статьи по специальности «Механика и машиностроение», журнал "Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации", 2020.

2. Кузнецова Н.С., Хлюпин А.С., Шуйков Д.С. "Аспекты применения технологии искусственного интеллекта", текст научной статьи по специальности «Компьютерные и информационные науки», журнал "Наука, образование и культура", 2022.

3. Тулегулов А.Д., Ергалиев Д.С., Бейсембаева Б.С., Акишев К.М. "Методы нейронных сетей и глубокого обучения на основе интеллектуального агента", текст научной статьи по специальности «Компьютерные и информационные науки», журнал "Надежность и качество сложных систем", 2021.

Automated decision-making system for aircraft fuselage external damage assessment

Bodrova I.E.
FRS PJSC Irkut Corporation, Moscow, Russia

Flight safety has always been and remains the foundation of the aviation industry. However, in the conditions of existing competition, airlines additionally take into account the length of time intervals required for fleet maintenance. Due to the peculiarities of the operation of commercial aircraft, such as their long service life, it is the tasks of maintenance and repair (MRO) that have a significant impact on the business of operating organizations. For this reason, the industry's attention has always been focused on the development and optimization of the MRO process, as well as on improving the monitoring of the reliability of aviation equipment.

To solve these tasks, the possibility of reducing the repair time of the aircraft structure by increasing the accuracy of measurements when assessing damage to the outer surface of the fuselage is being considered. An additional advantage in this case is the collection, analysis and storage of the data obtained, which can be used to assess the technical condition of aviation equipment. To achieve this goal, it is necessary to develop digital tools that can significantly improve the efficiency of determining damage to the outer surface of the fuselage. The optimal solution in this case is the integration of a 3D scanner, artificial intelligence and a technical support portal. The undoubted advantage is the exclusion of the possibility of the human factor influencing the decision on the repair of the aircraft structure.

The purpose of the publication is to formulate recommendations for modeling the process of detecting damage to the outer surface of the fuselage and monitoring the reliability of aircraft equipment within the new digital ecosystem of MRO. It provides a brief analysis of the accuracy of the data obtained by 3D scanning, and offers algorithms for building an online decision-making system using artificial intelligence and a technical support portal.

Многопараметрический приборный комплекс диагностики гибридной винтомоторной группы легкого летательного аппарат

Борисов Д.А., Сычёв А.В., Балясный К.В., Жуков А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Летательные аппараты вместимостью 1-2 человека и взлетной массой до 400-600 килограмм, как правило, используют двигатели внутреннего сгорания (ДВС). С развитием электроники и более энергоемких источников электрической энергии появилась возможность создавать летательные аппараты с электрическими силовыми установками (ЭСУ) способные держатся в воздухе до часа. Увеличение длительности полета аппаратов с ЭСУ возможно только за счет увеличения емкости источников питания. Данное решение реализуется в гибридных силовых установках (ГСУ) в которых электродвигатель работает совместно с ДВС. За счет объединения двух разнотипных силовых установок появляется возможность комбинировать различные режимы работы. При этом возникает необходимость комплексной диагностики, что и определяет актуальность работы.

Целью работы является разработка многопараметрического приборного комплекса диагностики гибридной винтомоторной группы легкого летательного аппарат.

Для контроля и управления ГСУ предлагается диагностический приборный комплекс, который не только включает в себе диагностическое оборудование от ДВС и ЭСУ, но также и другие наборы датчиков и блоков, которые ранее не входили в состав этих установок. Определены отслеживаемые параметры ГСУ:

- Температуры головок цилиндров (до 150 °C);
- Обороты (до 6400 об/мин);
- Расход топлива (до 24 л/ч);
- Положение коленчатого вала (0° – 360°);
- Напряжение электрического энергоносителя (до 100 Вольт);
- Ток потребления ЭД (до 300 ампер);
- Остаточная емкость электрического энергоносителя (до 20 А/ч);
- Температура контроллера ЭД (до 100 °C);
- Температура двигателя (до 120 °C);
- Температура электрического энергоносителя (до 80 °C);
- Положение РУД (0 – 100%).

При параллельной схеме работы ГСУ, обороты на ДВС пропорциональны оборотам электродвигателя (ЭД). Это отношение определяется передаточным числом редуктора между ДВС и ЭД если такой установлен в ГСУ. Таким образом, отпадает потребность в двух отдельных датчиках оборотов.

Таким образом, предложена единая система контроля данных ГСУ, которая позволит увеличить точность измеряемых параметров за счет синхронизации проводимых измерений.

В будущем измеренные данные могут быть использованы для построения цифровой модели ГСУ.

Литература:

1. Предигер В., Хоффманн Й., Трентманн В., Костилев С., Ломан Е., Селифонов В.В., Карпухин К.Е., Баулина Е.Е. Автоматическое управление гибридной силовой установкой полноприводного автомобиля. //Известия МГТУ «МАМИ» №1(7) 2009-60 с.

2. Колесников А.А., Калий Д.С., Радионов И.А., Якименко О.И. Синергетическая система управления гибридной силовой установкой. Мехатроника, автоматизация, управление. Том 19, №10, 2018-44 с.

Multiparametric instrumental complex for diagnostics of a hybrid propeller group of a light aircraft

Borisov D.A., Sychev A.V., Balyasny K.V., Zhukov A.A.
MAI, Moscow, Russia

Aircraft with a capacity of 1-2 people and a takeoff weight of up to 400-600 kilograms, as a rule, use internal combustion engines (ICE). With the development of electronics and more energy-intensive sources of electrical energy, it became possible to create aircraft with electric power plants (EPP) capable of staying in the air for up to an hour. An increase in the duration of the flight of vehicles with ESA is possible only by increasing the capacity of power sources. This solution is implemented in hybrid power plants (HPP) in which the electric motor works together with the internal combustion engine. By combining two different types of power plants, it becomes possible to combine different operating modes. In this case, there is a need for complex diagnostics, which determines the relevance of the work.

The aim of the work is to develop a multi-parameter instrumental complex for diagnosing a hybrid propeller group of a light aircraft.

For the control and management of the HPP, a diagnostic instrument complex is proposed, which not only includes diagnostic equipment from the ICE and EPP, but also other sets of sensors and blocks that were not previously part of these installations. The HPP monitored parameters are defined:

- Temperature of cylinder heads (up to 150 °C);
- Revolutions (up to 6400 rpm);
- Fuel consumption (up to 24 l/h);
- Position of the crankshaft (0° - 360°);
- Voltage of the electrical energy carrier (up to 100 Volts);
- Consumption current (up to 300 amperes);
- Residual capacity of the electrical energy carrier (up to 20 A/h);
- Controller temperature (up to 100 °C);
- Engine temperature (up to 120 °C);
- Temperature of the electrical energy carrier (up to 80 °C);
- Throttle position (0 – 100%). With a parallel scheme of operation of the HPP, the revolutions on the internal combustion engine are proportional to the revolutions of the electric motor. This ratio is determined by the gear ratio of the gearbox between the internal combustion engine and the electric motor, if one is installed in the HPP. Thus, there is no need for two separate speed sensors.

Thus, a unified control system for HPP data has been proposed, which will increase the accuracy of the measured parameters by synchronizing the measurements. In the future, the measured data can be used to build a digital model of the HPP.

Повышение достоверности обработки телеметрической информации бортовой аппаратуры КА на основе нечетких нейронных сетей

Буторин В.В., Светличный А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

При создании космических аппаратов (КА) для мониторинга состоянием систем его бортовой аппаратуры (БА), как правило, внедряются встроенные системы контроля (ВСК).

Одними из факторов, негативно влияющих на работу всего комплекса БА, являются тяжёлые заряженные частицы, вызванные вспышками на Солнце и направлением солнечного ветра. В последнее время всё большую популярность набирает использование сверхмалые КА, масса которых не позволяет предусмотреть дополнительную бортовую аппаратуру ВСК, поэтому необходимо искать другой вариант решения вопроса.

В различных областях для обработки информации всё чаще применяются нечёткие нейронные сети (НС), которые на выходе дают вещественное число на отрезке от 0 до 1. Для того, чтобы повысить качество работы ВСК, не прибегая при этом к изменению её внешних параметров, целесообразно внедрить программные средства, основанные на нечётких НС, так как они отлично справляются с задачами обработки входящей информации и при этом не требуют усложнения системы БА КА.

Предполагается, что на вход НС подаются n-мерные векторы телеметрической информации систем БА. Затем НС обрабатывает данные, и выдает признаки о наличии искажений в полученной информации, оценки природы их возникновения и влияние этих искажений на работу КА. Использование нечётких НС позволит повысить качество контроля полученных параметров, за счет своей нелинейности, гибкости, простоты в использовании, и возможности построения сложных взаимосвязей.

Литература:

1. Демьянов, А.В. Сравнительный анализ методов повышения отказоустойчивости вычислительных модулей космических аппаратов / А.В. Демьянов, И.И. Долгов, А.Е. Клещёв // Информационные технологии в цифровом мире: сборник докладов 9-й науч.-техн. шк.-семинара. г. Санкт-Петербург, 05-06 декабря 2019 г. – Санкт-Петербург: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. – С. 52-53.

2. Клячкин, В.Н. Прогнозирование состояния технического объекта с применением методов машинного обучения / В.Н. Клячкин, Д.А. Жуков // Программные продукты и системы. – 2019. –Т. 32, № 2. – С. 244-250.

3. Круглов, В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В. В. Борисов. – Москва: Горячая линия, 2002. – 382 с.

4. Любимова, Т.В. Решение задачи прогнозирования с помощью нейронных сетей / Т.В. Любимова, А.В. Горелова // Инновационная наука. – 2015. – № 4. – С. 39–43.

5. Никольский, В.В. Проектирование сверхмалых космических аппаратов: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Балт. гос. техн. ун-т., 2012. – 59 с.

6. Филатова, Т.В. Применение нейронных сетей для аппроксимации данных // Кибернетика и системный анализ. 2004. – № 6. – С. 121–125.

7. Янаева, М.В. Нечеткие нейронные сети в интеллектуальном анализе данных / М.В. Янаева, Е.В. Синченко – Научные труды КубГТУ, 2016. – № 15. – С. 80–93.

Improving the reliability of processing telemetry information of spacecraft onboard equipment based on fuzzy neural networks

Butorin V.V., Svetlichnyi A.A.

MAI, Moscow, Russia

When designing a spacecraft (SC) embedded control systems (ECS) are often introduced to monitor the state of the systems of its onboard equipment (OE). One of the factors that negatively affects the operation of the entire OE complex are heavy charged particles caused by solar flares and the direction of the solar wind. Recently, the use of ultra-small SC is gaining more and more popular, the mass of which does not allow for additional onboard equipment for the ECS, so it is necessary to look for another solution to that problem.

In various areas, fuzzy neural networks (NN) are being used more and more often for information processing, which output a real number on the interval from 0 to 1. In order to improve the quality of work of the ECS without resorting to changing its external parameters, it is advisable to introduce software tools based on fuzzy NN, since they do an excellent job of processing incoming information and do not require the complication of the OE system of the SC.

It is assumed that n-dimensional vectors of telemetric information of OE systems are fed to the NN's input. Then the NN processes the data and gives indications of the presence of distortions in the received information, estimates the nature of their occurrence and the impact of these distortions on the operation of the SC. The use of fuzzy NN will improve the quality of control of the obtained parameters due to its non-linearity, flexibility, ease of use and the ability to build complex correlations.

References:

1. Demyanov, A.V. Comparative analysis of methods for improving the fault tolerance of spacecraft computing modules / A.V. Demyanov, I.I. Dolgov, A.E. Kleshchev // Information technologies in the digital world: a collection of reports of the 9th scientific and technical school-seminar. St. Petersburg, December 05-06, 2019 - St. Petersburg: Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI" publishing house, 2019. - P. 52-53.

2. Klyachkin, V.N. Forecasting the state of a technical object using machine learning methods / V.N. Klyachkin, D.A. Zhukov // Software products and systems. - 2019. - V. 32, No. 2. - P. 244-250.

3. Kruglov, V.V. Artificial neural networks. Theory and Practice / Moscow, Hotline – Telecom, 2002, 382 p.

4. Lyubimova, T.V. The solution to the problem of forecasting using neural networks / T.V. Lyubimova, A.V. Gorelova // Innovative Science. - 2015. - No. 4. - P. 39–43.

5. Nikolsky, V.V. Designing ultra-small spacecraft: a tutorial. // St. Petersburg: Balt. state tech. university., 2012. - 59 p.

6. Filatova, T.B. Application of neural networks for data approximation // Cybernetics and system analysis. 2004. - No. 6. - P. 121-125.

7. Yanaeva, M.V. Fuzzy neural networks in intellectual data analysis / M.V. Yanaeva, E.V. Sinchenko - Scientific works of Kuban State Technological University, 2016. - No. 15. - P. 80–93.

Исследование устойчивости линейных систем управления с несинхронизированными вычислителями с помощью SageMath

Буянов С.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Использование несинхронизированных вычислений позволяют избежать снижения производительности при увеличении числа одновременно работающих вычислителей и усложнении информационных зависимостей в параллельно исполняемых вычислительных процессах. При данном подходе вычислители работают циклически и независимо друг от друга. Простои из-за ожидания данных исключены. В начале каждого цикла счета вычислитель используют те данные, которые имеются на текущий момент времени. Очередей из данных и/или промежуточных результатов нет, новые данные записываются на место старых, обеспечивая в системе в каждый момент времени наличие актуальной информации.

Несинхронизированность вычислений в общем случае может приводить к повторному использованию какой-то части данных, и к неиспользованию другой, а также к состязаниям-гонкам, возникающим при конкурирующих вычислениях одних и те же данных несколькими вычислителями. Однако в настоящее время несинхронизированные вычисления успешно применяются для решения систем линейных и нелинейных уравнений, краевых задач полностью асинхронными итерационными методами [1].

Доклад посвящен исследованию влияния организации несинхронизированных вычислений на устойчивость управляющих систем с помощью системы компьютерной алгебры SageMath. В работе показано, что скорость сходимости полностью асинхронных итераций при решении систем линейных уравнений м.б. выше, чем при использовании аналогичных синхронных методов. Поскольку задачи определения сходимости итерационных методов практически эквивалентны методам определения устойчивости систем управления, то их применение в данном случае может быть оправдано.

1. Буянов С.В. Несинхронизируемые вычисления в параллельных итерационных методах, XXII Ежегодная богословская конференция Православного Свято-Тихоновского гуманитарного университета. Т. 2. — М.: Изд-во ПСТГУ, 2012. Стр. 213-217.

Study of linear control systems stability with nonschronized proseccors using sageMath

Buyanov S.V.
MAI, Moscow, Russia

Nonsynhronized computations makes it possible to avoid a decrease in performance when the number of simultaneously running processors is increased and the information dependencies in parallel computing processes are complicated. In this approach processors work cyclically and independently of each other. Downtime due to data waiting is excluded. When processor begining computing cycle, it uses data, which available at the current time. There are no queues of data and/or results, new data is recorded instead of the old ones, ensuring the availability of actual information in the system at every time.

In general case, nonsynhronization of calculations can lead to reuse of some part of the data, and to non-use of another, or to appearance of races that occur when competing calculations by several processors. However, nonsynhronized calculations are successfully used to solve systems of linear and nonlinear equations, boundary value problems by fully asynchronous iterative methods [1].

This report is devoted to the study of the influence of the organization of nonsynhronized computing on the stability of control systems using the SageMath computer algebra system. The paper shows that the convergence rate of fully asynchronous iterations when solving systems of linear equations is higher than when using similar synchronous methods. Since the tasks of determining the convergence of iterative methods are practically equivalent to the methods of determining the stability of control systems, their use in this case can be justified.

1. Buyanov S.V. Nonsynhronized computations in parallel iterative methods, XXII Annual Theological Conference of the Orthodox St. Tikhon's University for the Humanities. Vol. 2. — Moscow: Publishing House of PSU, 2012. pp. 213-217.

Исследование различий реализации стандарта языка управления ЧПУ-станков

Вальков В.В., Коновалов К.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Стандарты механизмов работы станков с программным управлением имеют большую значимость. Это связано в первую очередь с необходимостью наличия возможности перехода на новые версии станков или на аналоги. Но на рынке данных решений можно наблюдать отличия в реализации стандартов. Естественно это не лучшим образом сказывается на взаимозаменяемости. На сегодняшний день мы можем наблюдать за разницей в реализации стандартов языка GCode, который широко применяется для управления 3Д-принтерами, функционирующими по технологии послойного наплавления (FDM), которые схожи с ЧПУ-станками в плане функционирования кинематики. Это можно увидеть на примере стандарта The NIST RS274NGC Interpreter – Version 3 [1], который описывает общий функционал используемых команд как основного (G-команды), так и вспомогательного (M-команды) набора операций ЧПУ-станка (либо FDM 3D-принтера). Кроме того, имеется различие в реализации операций из международного стандарта ISO 6983-1:2009 [2] и в российского ГОСТ 20999-83 [3].

Основной проблемой различий является расхождение в реализации требуемого стандартами функционала команды. Команда может существенно разниться в зависимости от производителя прошивки. Таким образом: целью работы является исследование неоднозначности реализации стандарта языка GCode и последующее предложение дальнейших действий по унификации различающихся частей. Объектом исследования являются существующие стандарты и реализации языка GCode у производителей 3Д-принтеров. Предметом исследования выступают методы и алгоритмы, реализующие возможность унификации реализаций языка GCode.

К основным задачам, решаемым в рамках исследования относятся:

1. Рассмотрение стандартов, описывающих язык GCode.
2. Систематизация вариантов реализации стандарта языка GCode.
3. Анализ различий реализации основного (G-команды) и вспомогательного (M-команды) набора операций.

4. Подготовка предложений по унификации различающихся реализаций.

5. Создание версии прошивки 3Д-принтера, включающей предложенные шаги по унификации.

Литература:

1. Thomas R. Kramer, Frederick M. Proctor, Elena R. Messina, The NIST RS274NGC Interpreter - Version 3, 01.08.2000.

2. ISO 6983-1:2009, декабрь 2009.

3. ГОСТ 20999-83.

Study on implementation differences of standart CNC control language

Valkov V.V., Konovalov K.A.

MAI, Moscow, Russia

The standardization of CNC function principles are essential. This is primarily due to the need to be able to switch to new versions of machines or their analogues. But in the market one can observe differences in the actual implementation of standardized commands in CNC firmware. Naturally, this leads to the lack of interchangeability. Today, we can observe the difference in the implementation of the GCode language commands, which are widely used to control 3D printers operating using the fused deposition modelling technology (FDM), which are similar to CNC machines in terms of kinematics. This can be seen in the example of The NIST RS274NGC Interpreter – Version 3 [1], which describes the general functionality of the commands used as the general (G-command) and maintenance (M-command) of the CNC machine (or FDM 3D printer) operations. In addition, there is a difference in the implementation of operations from their described functionality said in international standard ISO 6983-1:2009 [2] and the Russian GOST 20999-83 [3].

The main problem of differences is the discrepancy in the implementation of the command's functionality required by the standards. Actual implementations of the same command can vary significantly depending on the firmware manufacturer. Thus: the purpose of the work is to study the ambiguity of the implementation of the GCode language standard and the subsequent proposal of further actions to unify the different parts. The object of the study is the existing standards and implementations of the GCode language by 3D printer manufacturers. The subject of the study is methods and algorithms that make it possible to unify implementations of the GCode language.

The main tasks to be solved in the framework of the study include:

1. Analysis of the standards describing the GCode language.

2. Systematization of implementation options for the GCode language standard.

3. Analysis of differences in the implementations of the general (G-command) and maintenance (M-command) sets of operations.

4. Preparation of proposals for the different implementations' unification.

5. Creation of a firmware for the 3D printer, which includes the proposed unification steps.

References:

1. Thomas R. Kramer, Frederick M. Proctor, Elena R. Messina, The NIST RS274NGC Interpreter - Version 3, 01.08.2000.

2. ISO 6983-1:2009, 12.2009.

3. GOST 20999-83.

Типизация структур управления технологическими процессами в авионике

Ванцов С.В., Васильев Ф.В., Хомутская О.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Осуществляемый в настоящее время переход к цифровым методам обработки сигналов и управления ими приводит к необходимости пересмотра подходов к управлению технологическими процессами. Наиболее полноценно это проявляется в производстве авионики, отличающимся динамичностью развития, быстрой сменяемостью поколений производимой продукции, многономенклатурностью и мелкосерийностью. Все это накладывает ряд специфических требований к достижению требуемого качества конечного продукта и обеспечения надежности процессов его получения. Препятствием к

удовлетворению таких требований является многообразие способов достижения конечной цели, а, соответственно, и многообразие применяемого для целей управления аппаратных и программных средств. Преодолению отмеченных затруднений должно способствовать разработка единой теории и обобщающей методологии управления технологическими процессами, базирующейся на использовании типовых структур управления как процессами в целом, так и отдельными составляющими его элементами. Их отсутствие порождает необходимость каждый раз заново решать задачи управления в каждом конкретном случае для каждого конкретного производство. Исходными предпосылками разработки такой теории является выявление характерных возможностей получения и обработки управляющих сигналов, формирования граничных условий их существования и определения обобщенных целей управления.

С точки зрения создания типовых структур управления технологические процессы в авионике укрупненно можно классифицировать как: механическая обработка; химические процессы; «быстро» протекающие процессы; «медленно» протекающие процессы; сборочные и монтажные процессы, связанные с физико-химическими воздействиями (пайка, сварка, лакирование). Критерий «быстроты» может быть связан с процессом оцифровки данных о состоянии параметров и режимов и «отсутствием» в течение такого процесса случайных составляющих, оказывающих существенное влияние на изменение процесса, которое требует немедленного вмешательства системы управления или регулирования. С учетом допущений зависимость целевой функции управления от управляемых переменных можно считать детерминированной, хотя в целом влияние случайных составляющих имеет место. Тогда процессы можно рассматривать как квазидетериминированные и это упрощает создание систем управления ими. Для «медленно» протекающих процессов установление функциональных зависимостей является затруднительным. Разработка и исследование типовых структур систем управления технологических процессов в условиях цифрового производства позволит: сократить время на разработку алгоритмов управления; определить оптимальную степень цифровизации системы управления; определить глубину дискретизации аналоговых процессов производства; упростить расчет надежности технологического процесса и получаемого в результате его осуществления продукта за счет имеющихся в типовой структуре общих зависимостей.

Высказанные исходные положения являются первым шагом к разработке обобщенной методологии создания типовых унифицированных систем управления технологическими процессами, учитывающими основные их особенности, связанные с удержанием параметров и режимов технологических процессов, использованием цифровых принципов обработки параметров состояния процессов, увеличением скорости и точности обработки параметров состояния процесса.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-582.2022.4).

Process control structures typification in avionics

Vantsov S.V., Vasilyev F.V., Khomutskaya O.V.
MAI, Moscow, Russia

The current transition to digital methods of signal processing and control leads to the need to revise approaches to process control. This is most fully manifested in the production of avionics, characterized by dynamic development, rapid alternation of generations of manufactured products, multi-nomenclature and small-scale production. All this imposes a number of specific requirements for achieving the required quality of the final product and ensuring the reliability of its production processes. An obstacle to meeting such requirements is the variety of ways to achieve the ultimate goal, and, accordingly, the variety of hardware and software used for management purposes. Overcoming these difficulties should be facilitated by the development of a unified theory and a generalizing methodology for managing technological processes based on the use of standard control structures for both processes as a whole and its individual components. Their absence creates the need to solve management tasks anew each time in each specific case for each specific production.

The initial prerequisites for the development of such a theory are the identification of characteristic possibilities for receiving and processing control signals, the formation of boundary conditions for their existence.

Technological processes in avionics can be broadly classified as: mechanical processing; chemical processes; "fast" processes; "slow" processes; assembly and assembly processes associated with physical and chemical influences (soldering, welding, varnishing). The criterion of "speed" can be associated with the process of digitizing data on the state of parameters and modes and the "absence" during such a process of random components that have a significant impact on the process change, which requires the immediate intervention of a control or regulation system. The dependence of the objective control function on the controlled variables can be considered deterministic, although in general the influence of random components takes place. Then the processes can be considered as quasi-deterministic and this simplifies both construction of their model and creation of control systems for them. Note that for "slow" processes, the establishment of functional dependencies is difficult. Development and research of standard structures of control systems of technological processes in the conditions of digital production will allow: to reduce the time for the development of control algorithms; to determine the optimal degree of digitalization of the control system; to determine the depth of sampling of analog production processes; simplify the calculation of the reliability of the technological process and the product obtained as a result of its implementation due to the common dependencies available in the standard structure.

The stated initial provisions are the first step towards the development of a generalized methodology for creating standard unified process control systems that take into account their main features related to the retention of parameters and modes of technological processes, the use of digital principles for processing process state parameters, increasing the speed and accuracy of processing process state parameters.

The work was carried out within the framework of a grant from the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists - candidates of sciences (MK-582.2022.4)

Исследование характеристик рамочного МОЭМ-преобразователя угловой скорости на основе оптического туннельного эффекта

Васецкий С.О.
МАИ, г. Москва, Россия

Микрооптоэлектромеханические (МОЭМ) преобразователи угловой скорости получили широкое применение в инерциальной навигации, системах управления летательными аппаратами. Известные МОЭМ-преобразователи угловой скорости на основе оптического туннельного эффекта (ОТЭ) ряд преимуществ, таких как, низкая потребляемая мощность, высокая чувствительность, малые габариты и вес [1]. Одним из основных факторов, влияющих на точность измерений угловой скорости, являются технологические погрешности при изготовлении чувствительных элементов и оптических узлов МОЭМ-преобразователей угловой скорости.

Рассматриваемый МОЭМ-преобразователь угловой скорости имеет чувствительный элемент (ЧЭ), выполненный в виде рамки, закрепленной на L-образных упругих подвесах с электростатическим возбуждением первичных колебаний [2]. При воздействии угловой скорости на ЧЭ возникают силы Кориолиса и создаются вторичные колебания. Амплитуду вторичных колебаний регистрируют узлы оптического считывания на основе ОТЭ. Основными параметрами таких преобразователей, влияющими на характеристики и погрешности измерения угловой скорости, являются: геометрические параметры подвижных частей, обеспечивающих колебания ЧЭ, величина постоянного зазора между штырями гребенки электростатического привода, угол падения оптического излучения в узле оптического считывания на основе ОТЭ, величина длины волны, стабильность тока лазерного диода.

Проведенное моделирование работы рамочного МОЭМ-преобразователя в диапазоне угловых скоростей 0…6,3 рад/с показало, что относительная погрешность измерения угловой скорости неодинакова в рассматриваемом диапазоне и достигает 12,7%; при этом

длительность переходного процесса увеличивается с 0,01 с до 0,04 с. Для обеспечения погрешности менее 0,2 % допуск на геометрические параметры подвижных частей должен быть не более 1 мкм, величина постоянного зазора между штырями гребенки электростатического привода не более 30 нм, угол падения оптического излучения в узле оптического считывания не более 0,17 мрад, долговременная стабильность тока лазерного диода не хуже 0,8 %/ч. Таким образом определены максимально допустимые изменения основных параметров рамочного МОЭМ-преобразователя угловой скорости для получения приемлемых точных характеристик.

Литература:

1. Xia D., Huang L., Zhao L., Sensors, 2019, no. 19, 2798. https://doi.org/10.3390/s19122798.

2. Бусурин В. И., Казарьян А. В., Штек С. Г., Жеглов М. А., Васецкий С. О., Чжи П. Л. Рамочный микрооптоэлектромеханический преобразователь угловой скорости на основе оптического туннельного эффекта // Измерительная техника. 2022. No 5. С. 50–55. https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2022-5-50-55.

Investigation of the characteristics of a frame MOEM angular velocity transducer based on the optical tunneling effect

MAI, Moscow, Russia

Micro-optoelectromechanical (MOEM) angular velocity converters have been widely used in inertial navigation, aircraft control systems. The well-known MOEM angular velocity converters based on the optical tunneling effect (OTE) have a number of advantages, such as low power consumption, high sensitivity, small dimensions and weight [1]. One of the main factors affecting the accuracy of angular velocity measurements are technological errors in the manufacture of sensitive elements and optical components of MOEM angular velocity converters.

The considered MOEM angular velocity converter has a sensing element (SE) made in the form of a frame fixed on L-shaped elastic suspensions with electrostatic excitation of primary vibrations [2]. When the angular velocity is applied to the SE, Coriolis forces arise and secondary oscillations are created. The amplitude of secondary oscillations is recorded by optical reading nodes based on OTE. The main parameters of such converters that affect the characteristics and errors of angular velocity measurement are: the geometric parameters of the moving parts that provide the oscillations of the SE, the value of the constant gap between the pins of the electrostatic drive comb, the angle of incidence of optical radiation in the optical reading node based on OTE, the wavelength, the stability of the laser diode current.

The simulation of the operation of the frame MOEM converter in the range of angular velocities of 0 ... 6.3 rad / s showed that the relative error of measuring the angular velocity is not the same in the range under consideration and reaches 12.7%; at the same time, the duration of the transition process increases from 0.01 s to 0.04 s. To ensure an error of less than 0.2%, the tolerance for the geometric parameters of the moving parts should be no more than 1 microns, the value of the constant gap between the pins of the electrostatic drive comb is no more than 30 nm, the angle of incidence of optical radiation in the optical reading node is no more than 0.17 mrad, the long-term stability of the laser diode current is no worse than 0.8% /h. Thus, the maximum permissible changes in the basic parameters of the frame MOEM angular velocity converter are determined to obtain acceptable accurate characteristics.

Веб-лаборатории для обучения компьютерным технологиям и инженерным дисциплинам

Гинзбург И.Б., Ермаков А.А., Падалко С.Н., Смирнов О.Л.
МАИ, г. Москва, Россия

Для обеспечения доступности и стандартизации используемого учебного программного обеспечения (ПО) для студентов с разными стационарными и мобильными устройствами удачным решением является использование веб-лабораторий.

Долгое время необходимость приходить в лабораторные классы для выполнения практических и лабораторных работ была нормой для всех дисциплин, где требовалось

использование специализированного ПО. Когда стало использоваться больше открытого ПО, часть лицензий стала доступна для студентов, а персональные вычислительные устройства стали достаточно мощными, то многие задачи стали решаться студентами на своих устройствах. При этом возник ряд проблем совместимости из-за многообразия используемых платформ.

Опыт дистанционного обучения показал, что использование веб-приложений позволяет обеспечить эффективное онлайн-общение студентов с преподавателем и сокурсниками, работу с различными материалами и контроль успеваемости.

Оставалась задача создания унифицированной веб-оболочки, в которую можно добавлять программные компоненты для проведения лабораторных и практических занятий по различным дисциплинам.

На основе компонентов Project Jupyter [1] с открытым исходным кодом удалось создать веб-лабораторию для дистанционного обучения программированию на множестве различных языков с возможностью добавления новых языков программирования благодаря модульной структуре, в которой каждый компонент представлен отдельным ядром (kernel). Многопользовательская работа обеспечивается с помощью JupyterHub [2], а многооконный веб-интерфейс, как у профессиональной среды разработки, обеспечивается с помощью Jupyter Lab [3].

Были разработаны новые и использованы существующие ядра для поддержки языка программирования Fortran, создания графиков с помощью gnplot, диаграмм и блок-схем с помощью draw.io. Продолжается работа для интеграции системы GNU Octave для проведения расчетов, а также для использования различных библиотек для анализа данных и машинного обучения.

Это позволит обеспечить студентам удаленный доступ к большому набору специализированного ПО со стационарных и мобильных устройств с использованием стандартного веб-браузера.

Литература:

1. Project Jupyter [Электронный ресурс] URL: https://jupyter.org/.

2. JupyterHub - JupyterHub 3.0.0 documentation [Электронный ресурс] URL: https://jupyterhub.readthedocs.io/en/stable/.

3. JupyterLab - JupyterLab 3.5.0b0 documentation [Электронный ресурс] URL: https://jupyterlab.readthedocs.io/en/stable/.

Web labs for computer technologies' and engineering disciplines' education

Ginzburg I.B., Ermakov A.A., Padalko S.N., Smirnov O.L.

MAI, Moscow, Russia

To ensure the availability and standardization of the used educational software for students with different stationary and mobile devices, the use of web laboratories is a good solution.

For a long time, the need to come to laboratory classes to perform practical and laboratory work was the norm for all disciplines that required the use of specialized software. When more open source software was used, some licenses became available to students, and personal computing devices became powerful enough, then many tasks began to be solved by students on their devices. However, a number of compatibility issues arose due to the variety of platforms used.

The experience of distance learning has shown that the use of web applications makes it possible to ensure effective online communication between students and a teacher and fellow students, work with various materials and monitor progress.

The task remained to create a unified web shell into which software components can be added to conduct laboratory and practical classes in various disciplines.

Based on the open source components of Project Jupyter [1], it was possible to create a web laboratory for distance learning programming in many different languages with the possibility of adding new programming languages thanks to the modular structure in which each component is represented by a separate kernel. Multi-user work is provided using JupyterHub [2], and a multi-

window web interface, like a professional development environment, is provided using Jupyter Lab [3].

New kernels have been developed and existing kernels have been used to support the Fortran programming language, plotting with gnplot, drawing diagrams and flow charts with draw.io. Work is ongoing to integrate the GNU Octave system to perform calculations, as well as to use various libraries for data analysis and machine learning.

This will provide students with remote access to a large set of specialized software from stationary and mobile devices using a standard web browser.

References:

1. Project Jupyter [Electronic resource] URL: https://jupyter.org/.
2. JupyterHub - JupyterHub 3.0.0 documentation [Electronic resource] URL: https://jupyterhub.readthedocs.io/en/stable/.
3. JupyterLab - JupyterLab 3.5.0b0 documentation [Electronic resource] URL: https://jupyterlab.readthedocs.io/en/stable/.

Микросервисная архитектура. Разработка микросервисов задач сопровождения производства

Городилов Е.Р., Семёнов Г.Е.
МАИ, г. Москва, Россия

В проекте бизнес-логика состоит из модулей, представляющих набор доменов, таких как: модуль регистрации заказов, модуль редактирования конструкторско-технологической спецификации, модульного планирования, модуль оптимизации производственных планов, мониторинг выполнения работ. Некоторые элементы регулируют запросы через бизнес-логику, включая REST API и веб-интерфейс пользователя. Другие элементы с помощью бизнес-логики обеспечивают доступ через протокол SOAP для доступа к внешним структурам технологического проектирования и прочих сервисов предприятия.

Представлена возможная микросервисная архитектура системы как коллекция слабосвязанных, независимо развернутых сервисов: сервис регистрации заказов, производственные планировщики, сервисы мониторинга, технологические редакторы. Взаимодействие может реализовываться коммуникационными механизмами: REST API, GraphQL, асинхронными сообщениями.

Разработанная микросервисная архитектура дает возможность убрать плотные связи между сервисами и сделать их независимыми. Данный подход даст преимущество при развертывании. Получаем возможность развернуть сервисы в качестве дистрибутива, который учитывает особенности языка или технологии разработки. Недостатком является малая инкапсуляция технологического стека, невозможность ограничить ресурсы, которые требуются экземпляру сервиса, недостаточная изоляция при запуске нескольких экземпляров сервиса на одной машине, невозможность автоматизировать развертывание сервиса на конкретной машине.

Рассмотрены ведущие функциональные модули системы. Все они реализованы с поддержкой WEB-ориентированных технологий. Для решения задач планирования формируется модель заказа, упорядочивающая данные, которые описывают выпускаемые изделия.

Фрагмент информационной технологической системы должен иметь развитую структуру, отражающую конструктивную иерархию элементов, действующих на различных стадиях реализации. Различаются состав элементов информационной модели. В проектировании участвуют необходимые модели, соответствующие требованиям компонента представления среды.

Формирование модели информационно-технологической среды производственных систем – сложный и многоплановый процесс, для которого подобран комплекс технологических редакторов.

1. Newman S. Building Microservices, O'Reilly , 2015, p.260.
2. Abott M., Fisher M. The art of Scalability 2nd edn, Addison Wesley , 2015, p.624.

3. Richardson C. Microservices Patterns, Manning Publications, 2018, p.520.
4. Бутко А.О., Цырков Г.А. Специфика построения систем управления технологическими данными. Информационные технологии в проектировании и производстве: Науч.-техн. журн./ФГУП “ВИМИ”, 2019, №1, с.3-8.
5. Бутко А.О., Семенов Г.Е. Подготовка данных и реализация современных алгоритмов планирования. Информационные технологии в проектировании и производстве: Науч.-техн. журн./ФГУП “ВИМИ”, 2019, №3, с.3-9.
6. Семенов Г.Е., Цырков Г.А., Сычёв В.Н., Цырков А.В. Разработка архитектуры комплекса информационных средств для подготовки производства сложных технических систем. информационные технологии в проектировании и производстве: Науч.-техн. журн./ФГУП “ВИМИ”, 2014, №3, с.17-25.

Microservice architecture. Development of microservices for production support tasks

Gorodilov E.R., Semenov G.E.
MAI, Moscow, Russia

In the project, the business logic consists of modules representing a set of domains, such as: order registration module, design specification editing module, module scheduling, production plan optimization module, work execution monitoring. Some elements regulate queries through business logic, including REST APIs and the web user interface. Other elements provide access via business logic via SOAP to access external process design structures and other enterprise services.

A possible microservice architecture of the system is presented as a collection of loosely coupled, independently deployed services: order registration service, production schedulers, monitoring services, process editors. Interaction can be implemented by communication mechanisms: REST API, GraphQL, asynchronous messages.

The developed microservice architecture makes it possible to remove the dense links between services and make them independent. This approach will give an advantage for deployment. We get an opportunity to deploy services as a distribution, which takes into account the peculiarities of the language or development technology. The disadvantages are small encapsulation of technology stack, impossibility to limit resources, which are required by a service instance, insufficient isolation when launching several service instances on one machine, impossibility to automate the service deployment on a particular machine.

The leading functional modules of the system are examined. All of them are implemented with the support of WEB-oriented technologies. To solve the planning tasks, an ordering model is formed, which arranges the data describing the products being produced.

A fragment of the information technological system should have a developed structure reflecting the constructive hierarchy of elements operating at various stages of implementation. The composition of the elements of the information model differs. The design involves the necessary models that meet the requirements of the presentation component of the environment.

The formation of the model of information and technological environment of production systems is a complex and multidimensional process, for which a set of technological editors is selected.

Обучение системы ИИ, которая обеспечивает безопасность полёта в предгрозовой обстановке

Давыдова А.Д., Фаворский К.Г., Фаворский Е.К., Гуляева Е.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Безопасность полета в предгрозовой обстановке может быть обеспечена: 1. за счёт средств электромашинной совместимости систем самолёта с грозовыми разрядами, или 2. за счёт отказа от полётов в грозовую погоду. Попадание молнии в самолёт не всегда ведет к катастрофическим последствиям, но всегда связана с материальными потерями при ремонте и перенастройке систем ЛА. Необоснованный путь отказа от полётов также связан материальными потерями, но и моральными издержками пассажиров. Поэтому ставится задача избегать полётов при повышенной электрической напряженности E в атмосфере полёта, которая определяется с помощью датчиков E, установленных в ближайшей области

аэропорта. Связь между измеренными на Земле и в атмосфере полёта E не может быть реализована аналитическим путём, а должна осуществляться с помощью системы ИИ. На маршруте полёта следует измерять векторы напряжённости E и выбирать маршрут минуя зоны с повышенной E, что тоже связано с системой ИИ, которая в отличие от наземной системы позволяет определить вектор E на самолёте. Поэтому использование систем ИИ позволяет избегать прямых измерений в полёте, используя связи между необходимыми данными и по дополнительным измерениям определить зоны с повышенной E. Предварительные измерения напряженности и дополнительные измерения заносятся в базы данных и знаний систем ИИ, и в полёте по измерениям дополнительных данных системы ИИ позволяют определять величины E в полёте и принимать обоснованные решения по обеспечению безопасности полётов.

Training of an AI system that ensures flight safety in a pre-thunderstorm environment

Davydova A.D., Favorsky K.G., Favorsky E.K., Gulyaeva E.V.
MAI, Moscow, Russia

Flight safety in a pre-thunderstorm situation can be ensured: 1. by means of electrical machine compatibility of aircraft systems with lightning discharges, or 2. by refusing to fly in stormy weather. Lightning hitting an airplane does not always lead to catastrophic consequences, but it is always associated with material losses during the repair and reconfiguration of aircraft systems. The unjustified way of refusing flights is also associated with material losses, but also with moral costs of passengers. Therefore, the task is to avoid flights with increased electrical voltage E in the flight atmosphere, which is determined using sensors E installed in the nearest area of the airport. The connection between the E measured on the Ground and in the atmosphere of the flight cannot be realized analytically, but must be carried out using an AI system. On the flight route, it is necessary to measure the intensity vectors E and choose a route bypassing the zones with increased E, which is also associated with the AI system, which, unlike the ground system, allows you to determine the vector E on the aircraft. Therefore, the use of AI systems makes it possible to avoid direct measurements in flight, using the connections between the necessary data and using additional measurements to determine zones with increased E. Preliminary measurements of tension and additional measurements are entered into the databases and knowledge of AI systems, and in flight, using measurements of additional data, AI systems allow determining the values of E in flight and making informed decisions to ensure flight safety.

Система управления взаимоотношениями с клиентом (CRM) на базе платформы ППИАС

Дмитраков С.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Чем лучше в бизнесе налажены отношения с клиентами, тем успешнее он становится. Поэтому IT-системы, которые специально решают проблемы ежедневного взаимодействия с клиентами, становятся все более популярными.

Управление взаимоотношениями с клиентами (CRM) – это не просто применение технологий, это стратегия, позволяющая больше узнать о потребностях и поведении клиентов, чтобы развивать с ними более прочные отношения.

Грамотно построенные взаимоотношения с клиентами способствуют созданию лояльности и тем самым помогают удержать клиентов. Поскольку лояльность клиентов и доход – это качества, влияющие на доход компании, CRM – это стратегия управления, которая приводит к увеличению прибыли для бизнеса.

В промышленном производстве, в том числе авиационном, имеет место длительный цикл продаж, т.е. долгий выход на сделку, длинный путь клиента (долгий путь к покупке) и длинный цикл сделки (продажи), что как минимум приводит к большому количеству, необходимых для подписания, документов. Также у каждой производственной компании существует клиентская база, за которая нужно следить. Все это складывается сценарий, в котором CRM может оказаться чрезвычайно полезной.

Программная платформа интеграции автоматизированных систем (ППИАС) предназначена для объединения функциональных возможностей, разделенных на подключаемые модули, систем различного назначения. Данная платформа выросла из машиностроения и имеет следующие базовые возможности:

• Управление учетными данными пользователей системы;
• Управление информационными объектами;
• Управлять вызовами функций на стороне сервера.

На базе платформы ППИАС имеются такие программные решения, как Desktop-клиент на Windows Forms с использованием компонентов DevExpress, Web-клиенты систем по управлению контентом и взаимоотношению с клиентами, написанные на React.

Основные же функция системы управления взаимоотношению с клиентами (CRM), это отслеживание клиентов и истории их заказов, выявление возможностей для бизнеса и новых потенциальных клиентов, оптимизация процесса продаж и сокращение повторяющейся работы, и улучшение поддержки текущих клиентов в промышленном производстве.

Customer relationship management system based on the PPIAS platform

Dmitrakov S.A.
MAI, Moscow, Russia

The better the business has established relationships with customers, the more successful it becomes. Therefore, IT systems that specifically solve the problems of daily interaction with customers are becoming more and more popular.

Customer relationship management (CRM) is not just the application of technology, it is a strategy that allows you to learn more about the needs and behavior of customers in order to develop stronger relationships with them.

Well-built relationships with customers contribute to the creation of loyalty and thereby help to retain customers. Since customer loyalty and revenue are qualities that affect the company's revenue, CRM is a management strategy that leads to increased profits for the business.

In industrial production, including aviation, there is a long sales cycle, i.e. a long exit to the transaction, a long customer journey (a long way to purchase) and a long transaction cycle (sale), which at least leads to a large number of documents required for signing. Also, each production company has a customer base that needs to be monitored. All this adds up to a scenario in which CRM can be extremely useful.

The software platform for the integration of automated systems (PPIAS) is designed to combine the functionality, divided into plug-ins, of systems for various purposes. This platform grew out of mechanical engineering and has the following basic features:

• Management of system user credentials;
• Management of information objects;
• Manage function calls on the server side.

Based on the PPIAS platform, there are software solutions such as a Desktop client on Windows Forms using DevExpress components, Web clients of content management and customer relationship systems written in React.

The main function of the customer relationship management system (CRM) is to track customers and their order history, identify business opportunities and new potential customers, optimize the sales process and reduce repetitive work, and improve support for current customers in industrial production.

Математическая модель системы автоматического управления с проработкой имитационной модели

[1]Дружинин А.А., [2]Демченко А.Г.
[1]«Региональные самолеты», [2]МГТУ ГА, г. Москва, Россия

С возможным развитием авиации все более широкое применение находят устройства, наблюдающиеся с высокой вероятностью полета. Потребность в автоматическом управлении

полетом возникает в связи с легализацией трудового пилота при длительном пилотировании и фигурирует как объект управления.

Из-за этого, в работе реализована одна из наиболее важных систем автоматического управления – бортовая система автоматического управления САУ-1Т-2Б. САУ-1Т-2Б устанавливается на транспортные самолеты Ил-62, Ан-22, Ил-476 и представляет собой комплекс, состоящий из резервированной пилотажно-навигационной системы и системы контроля.

САУ-1Т-2Б раскрывает основные функции по автоматическому и полуавтоматическому пилотированию, такие как:

1. Стабилизация углового положения представляет собой относительно его центра тяжести тем самым резкое управление (функции автопилота).

2. Управление стабилизатором при использовании продольной балансировки (функции автоматической перестановки стабилизатора – АПС). [3]

3. Повышенная скорость движения или число Маха, а также может регулироваться ограничение параметров посредством управления тягой двигателя (функции САУ приборной скорости, САУ числом Маха и автомата тяги – АТ).

В структурной модели замкнутой системы «Самолёт-САУ-1Т-2Б» управляющие воздействия являются сигналами, формируемыми лётчиком (заданные значения угла тангажа, крена и курса), а выраженными воздействиями являются сигналы, действующие на стороны со стороны окружающей среды (внешние моменты воздействия). Внешние возмущения являются непрерывными изменениями аэродинамических сил, возрастают на возникновение: силы лобового сопротивления или возрастают силы на возникновение порывов ветра или возникают на почве и другие причины.

Выбираемые структурные модели замкнутых систем «самолёт-автопилот», «самолёт-автомат тяги», «самолёт-САУ приборной скорости» о соблюдении особенностей линеаризованных дифференциальных значений из вычислений в ходе математических преобразований вычислений всех вычисленных передаточных коэффициентов и других параметров управления системы для вычисления построения ее математической имитационной модели в среде MATLAB/Simulink.

Вслед за моделированием основных режимов САУ-1Т-2Б произведено моделирование пульта сигнализации ПС-172 в среде MATLAB/Simulink для сигнализации отказов, включения/отключения, переключения между режимами автопилота и пульта режимов ПР-173.

Затем на имитационной модели были смоделированы режимы исправной работы и отказов системы автоматического управления, в частности, обнаружение ошибок при отказе датчиков САУ-1Т-2Б. наблюдается, между переключениями механизмов возникает характер отказа. Получены переходные процессы и частотные характеристики в ответе на возбуждение разной формы. Из анализа полученных переходных процессов и частотных характеристик следует, что при правильной работе системы переходные процессы имеют высокие показатели качества.

Модели, продемонстрированные в работе, позволяют натолкнуться на сложные передаточные коэффициенты, легкое управление бортовыми средствами автоматики и наблюдают, как отрабатывает система на выявление для выявления динамики переходных процессов, встречающихся на различных примерах проектирования. В будущем в будущем возможно проектирование на базе существующей имитационной модели более сложной системы управления.

Mathematical model of the automatic control system ACS-1T2-B of the Candid(ИЛ-76) aircraft with the development of a simulation model of the aircraft

[1]Druzhinin A.A., [2]Demchenko A.G

[1]"Regional Aircraft", [2]MSTU GA, Moscow, Russia

With the possible development of aviation, devices that are observed with a high probability of flight are increasingly being used. The need for automatic flight control arises in connection with the legalization of a labor pilot during long-term piloting and appears as an object of control.

Because of this, one of the most important automatic control systems is implemented in the work – the onboard automatic control system SAU-1T-2B. SAU-1T-2B is installed on Il-62, An-22, Il-476 transport aircraft and is a complex consisting of a redundant flight and navigation system and a control system.

SAU-1T-2B reveals the main functions for automatic and semi-automatic piloting, such as:

1. Stabilization of the angular position is relative to its center of gravity, thereby sharp control (autopilot function).

2. Stabilizer control when using longitudinal balancing (functions of automatic stabilizer shifting – APS). [3]

3. Increased speed or Mach number, and the limitation of parameters can also be adjusted by controlling the engine thrust (functions of ACS of indicated speed, ACS of Mach number and autothrottle – AT).

In the structural model of the closed system "Aircraft-SAU-1T-2B", the control actions are the signals generated by the pilot (given values of pitch, roll and course), and the expressed actions are the signals acting on the sides from the environment (external moments of influence) . . External perturbations are continuous changes in aerodynamic forces, increase for the occurrence of: drag forces or increase forces for the occurrence of gusts of wind or arise on the ground and other reasons.

Selected structural models of closed systems "aircraft-autopilot", "aircraft-automatic thruster", "aircraft-self-propelled guns of indicated speed" on compliance with the features of linearized differential values from calculations during mathematical transformations of calculations of all calculated transfer coefficients and other system control parameters for calculating the construction its mathematical simulation model in the MATLAB/Simulink environment.

Following the simulation of the main modes of the SAU-1T-2B, the simulation of the PS-172 signaling console was carried out in the MATLAB/Simulink environment for signaling failures, switching on/off, switching between the modes of the autopilot and the PR-173 mode console.

Then, on the simulation model, the modes of correct operation and failures of the automatic control system were simulated, in particular, the detection of errors in the event of failure of the SAU-1T-2B sensors. Observed, between switching mechanisms there is a failure pattern. Transient processes and frequency characteristics are obtained in response to excitation of various shapes. From the analysis of the obtained transients and frequency characteristics, it follows that with the correct operation of the system, transients have high quality indicators.

The models demonstrated in the work allow you to encounter complex gear ratios, easy control of on-board automation tools, and observe how the system works out for detection to identify the dynamics of transients encountered in various design examples. In the future, it is possible to design a more complex control system based on the existing simulation model.

Испытания инерциальных навигационных систем и курсовертикалей с использованием мобильной лаборатории

Жарков М.В., Веремеенко К.К., Кузнецов И.М., Пронькин А.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Инерциальные навигационные системы (ИНС) и инерциальные курсовертикали (ИКВ) представляют собой одно из основных средств автономной навигации и определения параметров ориентации на борту подвижных объектов [1]. Важнейшим этапом разработки ИНС и ИКВ следует считать этап натурных испытаний ИНС и ИКВ. Причем как системы в целом, так и её отдельных элементов, в том числе программного и алгоритмического обеспечения. Натурные испытания ИНС и ИКВ требуют установки системы на борту

подвижного объекта и записи её показаний в ходе движения этого объекта. Одним из наиболее удобных и экономически эффективных типов подвижных объектов, на которых целесообразно проводить натурные испытания навигационных систем, по очевидным причинам можно считать автомобиль. С этой целью в Московском авиационном институте (МАИ) был создан мобильный комплекс исследований систем навигации и ориентации, в котором в качестве подвижного объекта используется автомобиль [2]. Такой комплекс можно назвать мобильной лабораторией испытаний навигационных систем.

Ключевым элементом такого рода комплексов следует считать систему определения эталонных параметров движения автомобиля. В мобильной лаборатории МАИ в качестве эталонной системы используется комплекс средств, состоящий из бортовой и лабораторной (стационарной) частей. В состав бортовой части входит блок инерциальных измерений UIMU-LCI на основе волоконно-оптических гироскопов в комплекте с двухантенным приемником ГЛОНАСС/GPS NovAtel SPAN-SE. Лабораторная составляющая представлена базовой станцией ГЛОНАСС/GPS для реализации дифференциального режима, включая RTK, и персональным компьютером с установленным программным обеспечением постобработки инерциальных и спутниковых измерений Novatel Inertial Explorer. Эталонная система обеспечивает определение навигационных параметров со следующей точностью (СКО): координаты – менее 10 см, скорость – менее 0,05 м/с, угол курса – 0,018 градуса, углы тангажа и крена – 0,007 градуса.

В качестве иллюстрации и подтверждения возможностей лаборатории в докладе приводятся результаты испытаний разных типов алгоритмов ориентации ИНС в ходе проезда на автомобиле в границах города Москвы. В качестве алгоритмов ориентации использовались: алгоритм на основе уравнения Пуассона [1], алгоритм прямого вычисления углов курса, тангажа и крена [3], а также их модификации, в которых используется информация о скорости движения от приемника ГЛОНАСС/GPS для вычисления положения базовой навигационной системы координат [3]. Результаты испытаний позволили оценить возможности каждого из алгоритмов в реальных условиях эксплуатации, что в свою очередь стало возможным благодаря использованию мобильной лаборатории исследований и испытаний навигационных систем, созданной в МАИ.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер темы FSFF-2020-0015.

1. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии / Под ред. Б. С. Алёшина, К. К. Веремеенко, А. И. Черноморского. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 424 с.

2. Лаборатория исследований и разработки систем навигации и ориентации // MAI.RU: сайт Московского авиационного института. URL: https://mai.ru/science/studies/equipment/index.php?ELEMENT_ID=167952 (дата обращения: 27.10.2022).

3. Zharkov M., Veremeenko K., Kuznetsov I., Pronkin A. Experimental Results of Attitude Determination Functional Algorithms Implementation in Strapdown Inertial Navigation System. Sensors. 2022; 22(5):1849. https://doi.org/10.3390/s22051849.

Inertial navigation systems and AHRS testing using a mobile laboratory

Zharkov M.V., Veremeenko K.K., Kuznetsov I.M., Pronkin A.N.
MAI, Moscow, Russia

Inertial navigation systems (INS) and Attitude and heading reference systems (AHRS) are one of the main onboard means of autonomous mobile objects navigation and attitude determination [1]. The most important stage in the development of INS and AHRS should be considered the stage of full-scale tests of INS and AHRS. Moreover, both the system as a whole and its individual elements, including software and algorithmic support. Full-scale tests of INS and AHRS require the installation of a system on board a mobile object and recording its measurements during the movement of this object. One of the most convenient and cost-effective types of mobile objects on which it is advisable to conduct full-scale tests of navigation systems, for obvious reasons, can be considered a car. For

this purpose, the Moscow Aviation Institute (MAI) has created a mobile research complex for navigation and attitude determination systems, in which a car is used as a mobile object [2]. Such a complex can be called a mobile laboratory for testing navigation systems.

A key element of such complexes should be considered a system for determining the reference parameters of the vehicle movement. In the MAI mobile laboratory, a set of tools consisting of on-board and laboratory (stationary) parts is used as a reference system. The onboard part includes a UIMU-LCI inertial measurement unit based on fiber-optic gyroscopes, complete with a NovAtel SPAN-SE dual-antenna GLONASS/GPS receiver for the implementation of differential mode, including RTK, and a personal computer with installed software for post-processing of inertial and satellite measurements Novatel Inertial Explorer. The reference system provides the determination of navigation parameters with the following accuracy (RMS): coordinates – less than 10 cm, speed – less than 0.05 m/s, heading – 0.018 deg., pitch and roll – 0.007 deg.

As an illustration and confirmation of the laboratory's capabilities, the report presents the results of tests of various types of INS attitude algorithms during driving in Moscow. The following attitude algorithms were used: an algorithm based on the Poisson equation (transformation matrix calculation approach) [1], an algorithm for direct calculation of heading, pitch and roll [3], as well as their modifications, which use GPS receiver velocity to calculate the position of the base navigation coordinate system [3]. The test results made it possible to evaluate the capabilities of each of the algorithms in real operating conditions, which in turn became possible thanks to the use of a mobile laboratory for research and testing of navigation systems created at MAI.

The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. FSFF-2020-0015).

1. Orientation and navigation of mobile objects: modern information technologies / Edited by B. S. Aleshin, K. K. Veremeenko, A. I. Chernomorsky. - M.: FIZMATLIT 2006,. - 424 p.

2. Navigation and orientation systems research and development laboratory // MAI.RU : website of the Moscow Aviation Institute. URL: https://mai.ru/science/studies/equipment/index.php?ELEMENT_ID=167952 (accessed: 10/27/2022).

3. Zharkov M., Veremeenko K., Kuznetsov I., Pronkin A. Experimental results of the implementation of functional algorithms for determining orientation in a stationary inertial navigation system. Sensors. 2022; 22(5):1849. https://doi.org/10.3390/s22051849.

Анализ целостности полезного сигнала для четырехслойного зеркально-симметричного модального фильтра в противофазном режиме

Жечев Е.С., Власов С.В.
ТУСУР, г. Томск, Россия

Для защиты электрических цепей от кондуктивных помех малой длительности применяется технология модальной фильтрации и устройства на ее основе – модальные фильтры (МФ). Такие устройства обладают малым временем срабатывания, высокой радиационной стойкостью и хорошим помехоподавлением. Ранее в модуль фильтра космического аппарата, разрабатываемого в АО «ИСС» имени академика М.Ф. Решетнева, был внедрен четырехслойный зеркально-симметричный МФ для защиты цепей питания. Между тем, это устройство может быть использовано и в сигнальных цепях. Ранее анализировались помехоподавляющие свойства такого МФ в противофазном и синфазном режимах [1]. С точки зрения целостности полезного сигнала исследовался только общий режим [2]. В данной работе впервые анализируется целостность полезного сигнала в зеркально-симметричном МФ в дифференциальном режиме. Получены результаты для МФ с оптимальными параметрами с учетом потерь в проводниках и диэлектрике во временной и частотной областях. Результаты показывают, что МФ имеет хорошие характеристики целостности полезного сигнала. Характеристики такого МФ позволяют использовать его как для защиты от кондуктивных помех малой длительности, так и для передачи полезного сигнала. В данной работе на вход МФ подавались импульсные воздействия, соответствующие одному биту полезного сигнала. Получены временные отклики на эти импульсы. Далее, на вход МФ подавалась

псевдослучайная битовая последовательность размерностью 10000 бит. Получены глазковые диаграммы для 3 разных скоростей передачи в трех режимах включения активных проводников МФ. Выявлено наиболее перспективное включения активных проводников для передачи полезного сигнала.

Анализ целостности полезного сигнала для четырехслойного зеркально-симметричного модального фильтра в противофазном режиме

Zhechev Y.S., Vlasov S.V.
TUSUR, Tomsk, Russia

Modal filtering technology and modal filters (MF) are used to protect electrical circuits from ultra-wideband conducted interference. Such devices have small response time, high radiation resistance and good interference suppression. Earlier, a four-layer reflection symmetric MF for power circuit protection was introduced into the filter module of the spacecraft being developed at the Information Satellite Systems Reshetnev company. Meanwhile, this device may also be used in signal circuits. The interference-suppressing properties of such a MF in common and differential modes have been analyzed previously [1]. From the point of view of the signal integrity, only the single-ended mode has been investigated [2]. In this paper, the integrity of the useful signal in a reflection symmetric MF in the differential mode is analyzed for the first time. Results are obtained for the MF with optimum parameters taking into account the conductor and dielectric losses in the time and frequency domains. The results show that the MF has good characteristics of signal integrity. The characteristics of such a MF allow it to be used both for protection against short duration conducted interference and for the transmission of a useful signal. In this paper, pulses corresponding to one bit of the useful signal were excited to the MF input. Time responses to these pulses were obtained. Further, a pseudo-random bit sequence of 10000 bits was excited to the MF input. Eye diagrams for 3 different transmission data rates in three modes of active MF conductor inclusion are obtained. The most promising inclusion of active conductors for useful signal transmission is revealed.

Архитектура программного фреймворка для автоматизации экспериментальных исследований программных решений на основе виртуальных машин

Ильин Д.Ю.
РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия

Большинство современных веб-проектов и интернет-сервисов разрабатывается на основе готовых программных библиотек, фреймворков, систем управления базами данных и других программных решений. В случае высоконагруженных веб-проектов требуется тщательный подбор программных решений [1], которые будут интегрированы в применяемый стек технологий.

Пакетные менеджеры, обеспечивающие распространение готовых программных компонентов, могут содержать решения с идентичным функционалом. Так, например, в пакетном менеджере NPM содержится порядка 2 миллионов [2] готовых программных решений и часть из них является взаимозаменяемыми. Несмотря на схожий или практически идентичный функционал они могут различаться нефункциональными свойствами.

В ходе разработки цифровой платформы для массовых психологических исследований был накоплен опыт оценки программных решений на основе экспериментов в виртуальных машинах. Определены программные средства, необходимые для автоматизации проведения экспериментов: средства виртуализации, управления виртуальными машинами, провизии, автоматизации задач, мониторинга и подготовки отчётов.

В результате спроектирован и разработан программный фреймворк Repexlab (reproducible experiment laboratory) для автоматизации экспериментов на базе виртуальных машин. Он интегрирует существующие инструменты. Работу виртуальных машин и управление ими обеспечивают VirtualBox и Vagrant соответственно. Для провизии применяется Ansible. Мониторинг системных ресурсов организован с помощью утилиты atop. Построение отчётов реализовано с помощью шаблонизатора EJS и библиотеки Plotly.JS. Программный фреймворк

предоставляет встроенное средство автоматизации задач, в котором команды задаются в формате YAML.

Использование перечисленных средств по отдельности потребовало бы знания языков программирования Ruby, JavaScript и формата YAML. Разработанный фреймворк предоставляет более единообразный интерфейс для взаимодействия на основе формата YAML, тем самым устраняя необходимость в использовании Ruby и JavaScript для организации эксперимента. Также фреймворк предоставляет набор команд скаффолдинга для упрощения подготовки начальной конфигурации виртуальных машин. Таким образом разработан специализированный инструмент, сокращающий трудозатраты для подготовки и проведения экспериментальных исследований на основе виртуальных машин.

Литература:

1. Poth A., Levien D. A., Rrjolli O., Wanjetscheck M. Quality Evaluation with the Open-Source Quality-Radar for a Sustainable Selection and Use of FOSS Components. In: European Conference on Software Process Improvement. 2022. P. 503-517. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15559-8_36

2. Wyss E., De Carli L., Davidson D. What the fork?: finding hidden code clones in npm. In: Proceedings of the 44th International Conference on Software Engineering. 2022. P. 2415-2426. https://doi.org/10.1145/3510003.3510168

Architecture of the software framework for automating experimental evaluation of software solutions based on virtual machines

Ilin D.Y.

RTU MIREA, Moscow, Russia

Most modern web projects and Internet services are developed based on existing software libraries, frameworks, database management systems and other software solutions. In the case of highload web projects, a thoughtful selection of software solutions [1] is required, prior to their integration into the technology stack.

Package managers that provide distribution of ready-made software components may contain solutions with identical functionality. For example, the NPM package manager contains about 2 million [2] ready-made software solutions, and some of them are interchangeable. Despite similar or almost identical functionality, they may differ in non-functional properties.

During the development of a digital platform for mass psychological research, experience was gained in evaluating software solutions based on experiments in virtual machines. The software tools needed to automate the experiments were identified: virtualization tools, virtual machine management software, provision tools, task automation tools, monitoring and reporting tools.

As a result, the Repexlab (reproducible experiment laboratory) software framework was designed and developed to automate experiments based on virtual machines. It integrates existing tools. Virtual machines are run and managed by VirtualBox and Vagrant, respectively. Ansible is used for provisioning. Monitoring of system resources is organized using the atop utility. Reporting is implemented using the EJS template engine and the Plotly.JS library. The software framework provides a built-in task automation tool in which commands are specified in YAML format.

Using these tools separately would require knowledge of the programming languages Ruby, JavaScript, and the YAML format. The developed framework provides a more uniform interface for interaction based on the YAML format, thereby eliminating the need to use Ruby and JavaScript to organize the experiment. The framework also provides a set of scaffolding commands to simplify the preparation of the initial configuration of virtual machines. Thus, a specialized tool has been developed that reduces required efforts for the preparation and conduct of experimental studies based on virtual machines.

References:

1. Poth A., Levien D. A., Rrjolli O., Wanjetscheck M. Quality Evaluation with the Open-Source Quality-Radar for a Sustainable Selection and Use of FOSS Components. In: European Conference on Software Process Improvement. 2022. P. 503-517. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15559-8_36.

2. Wyss E., De Carli L., Davidson D. What the fork?: finding hidden code clones in npm. In: Proceedings of the 44th International Conference on Software Engineering. 2022. P. 2415-2426. https://doi.org/10.1145/3510003.3510168.

Определение и предсказывание положения объекта с помощью системы группового интеллекта

Исаев В.В., Зимин А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Мир искусственного интеллекта и нейронных систем постоянно развивается. Уже сегодня стали доступны системы, позволяющие в реальном времени изменять изображения на видео потоке на другие, описанные в текстовом поле. Подобная система носит название «Erase and Replace» и создана компанией Runway в этом году. Что касается распознавания объектов на изображениях, то в современном мире это стало обыденностью. Подобные системы применяются как в охранной сфере, например, поиск преступника в толпе, так и в автомобильной, в виде системы автоматической парковки, промышленности, как контроль качества деталей и прочих. Широкое распространение получили нейронные сети Yolo и различные SSD модели для мобильных систем. Однако в основе большинства задач, поставленных перед такими системами, стоит задача поиска объекта и распознавания, а функции связанные и изменением положения объекта управления чаще всего контролируются другими системами, не завязанными на нейронной сети.

Связано это с трудностью позиционирования и определения объекта в пространстве, техническими трудностями составления правильного и объемного датасета и производственными ограничениями, так как для обучения необходимом массиве данных необходимо использовать мощности промышленных суперкомпьютеров. В связи с этим стоит острая необходимость разработки вспомогательной системы обнаружения и распознавания приближающихся объектов. Данная проблема может быть востребована в авиационной и военной сфере, например, для организации и реагированию на возникшие препятствия роя дронов.

На базе кафедры 307 разрабатывается система обнаружения слежения и предсказания будущего положения объекта. В рамках разрабатываемой системы использовались 3 отдельных подсистемы, выполняющие следующие функции: детектор, трекер и предиктор.

Для детекции объекта используется нейросеть yolov5. Данная система позволяет обнаружить объект в течении 0.01 с. Для повышения производительности используется нано версия данной нейронной сети.

Трекинг реализуется с помощью алгоритма CSRT. Алгоритм основан на фильтрации изображения и работает с повышенной точностью, по сравнению с другими алгоритмами трекинга. Из минусов данного алгоритма можно отметить более низкую производительность.

Предиктор основан на рекурсивном алгоритме предиктивного состояния. Данный алгоритм дает прогноз положения объекта, основанный на предыдущем поведении модели в системе.

Полученная система группового интеллекта с тремя акторами позволяет определить объект отследить его изменение положения в пространстве и предсказать дальнейшее поведение.

По предварительным тестам для определения текущего положения требуется 3-5 кадров, а для достоверного предсказания положения около 10 кадров. Тесты проводились с использованием одной камеры, в связи с чем положение объекта фиксировалось лишь по 2 осям пространства.

В настоящее время ведутся работы по добавлению второй точки обзора для добавления третьей оси, что позволит определить положение объекта в пространстве, а за счет системы предиктора предсказать будущее положение объекта и среагировать на его изменения.

Determination and prediction of the object's position using a group intelligence system

Isaev V.V., Zimin A.A.
MAI, Moscow, Russia

The world of artificial intelligence and neural systems is constantly evolving. Already today, systems have become available that allow you to change the images on the video stream in real time to others described in the text field. Such a system is called "Erase and Replace" and was created by Runway this year. As for the recognition of objects in images, in the modern world it has become the routine. Such systems are used both in the security sphere, for example, the search for a criminal in a crowd, and in the automotive, in the form of an automatic parking system, industry, as quality control of parts and others. Yolo neural networks and various SSD models for mobile systems have become widespread. However, most of the tasks assigned to such systems are based on the task of object search and recognition, and the functions associated with changing the position of the control object are most often controlled by other systems that are not tied to a neural network.

This is due to the difficulty of positioning and determining an object in space, technical difficulties in compiling a correct and voluminous dataset and production constraints, since it is necessary to use the power of industrial supercomputers to train the necessary data array. In this regard, there is an urgent need to develop an auxiliary system for detecting and recognizing approaching objects. This problem may be in demand in the aviation and military sphere, for example, for organizing and responding to obstacles caused by a swarm of drones.

On the basis of Department 307, a system for detecting tracking and predicting the future position of an object is being developed. Within the framework of the developed system, 3 separate subsystems were used that perform the following functions: detector, tracker and predictor.

The yolov5 neural network is used to detect the object. This system allows you to detect an object within 0.01 s. To improve performance, a nano version of this neural network is used.

Tracking is implemented using the CSRT algorithm. The algorithm is based on image filtering and works with increased accuracy compared to other tracking algorithms. Of the disadvantages of this algorithm, we can note a lower performance.

The predictor is based on a recursive predictive state algorithm. This algorithm gives a prediction of the object's position based on the previous behavior of the model in the system.

The resulting system of group intelligence with three actors allows you to identify an object, track its change in position in space and predict further behavior.

According to preliminary tests, it takes 3-5 frames to determine the current position, and about 10 frames to reliably predict the position. The tests were carried out using a single camera, and therefore the position of the object was recorded only along 2 axes of space.

Currently, work is underway to add a second viewpoint to add a third axis, which will determine the position of the object in space, and at the expense of the predictor system to predict the future position of the object and react to its changes.

Технологии Process Mining в задаче оптимизации системы технической эксплуатации беспилотных авиационных систем

[1]Кандыба К.С., [2]Егорова А.А.
[1]АО «Кронштадт», [2]МГТУГА, г. Москва, Россия

Беспилотные авиационные системы (БАС) – перспективный вид авиационной техники (АТ). Одним из базовых принципов интеграции беспилотных воздушных судов (БВС) в единое воздушное пространство является соответствие установленным техническим требованиям в области безопасности полетов (БП).

Существенным техническим фактором, прямо влияющим на БП, является обеспечение функционирования эффективной и надежной системы технической эксплуатации (СТЭ) АТ. Эффективность определяется безопасной эксплуатацией при минимальных затратах труда, времени и материальных средств [1] (повышение показателей коэффициента технической готовности и характеристики поддерживаемости).

Процессы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) сложны, и включают в себя анализ огромного количества эксплуатационных данных, диагностирования и прогнозирования

технического состояния АТ. В отличие от этапов проектирования и производства, управление эксплуатацией АТ недостаточно обеспечено высокотехнологичными решениями и ограничено в основном, применением информационно-справочных систем и систем планирования ТОиР.

Технологии Process Mining (интеллектуального анализа процессов) применимы для извлечения, анализа и оптимизации бизнес-процессов в различных отраслях экономической деятельности, в том числе и в аэрокосмической сфере. Алгоритмы Process Mining на входе используют журналы событий (event logs) информационных систем, итогом является автоматически синтезированная и оптимизированная модель процессов [2].

В задаче оптимизации системы технической эксплуатации БАС журналы событий формируются в информационной системе планирования ТОиР и представляют собой упорядоченные и зафиксированные по времени перечни событий, происходящих в рамках эксплуатации АТ. Основными событиями являются: выполненные персоналом работы по ТОиР, с которыми могут быть связаны дополнительные свойства (например, данные о ресурсах). Для верификации и валидации модели процессов ТОиР используется статистическая информация о неисправностях и архив системы бортовых измерений БВС, зарегистрированных на этапе испытаний [3].

Реализация алгоритмов Process Mining и оптимизация модели СТЭ БАС предлагается в качестве программного модуля для информационных систем. В перспективе дальнейших исследований программный модуль может быть интегрирован в информационный комплекс управления жизненным циклом изделий АТ.

Литература:

1. Судов Е.В., Петров А. Н., Петров А. В., Осяев А.Т., Серебрянский С. А. Технологии интегрированной логистической поддержки в процессах жизненного цикла авиационной техники // ООО «Эдитус.: МАИ, 2018.

2. W.M.P. van der Aalst. Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes. Springer-Verlag, Berlin, 2011.

3. Кандыба К.С. Этапы разработки эксплуатационных цифровых двойников изделий авиационной техники // Системы управления полным жизненным циклом высокотехнологичной продукции в машиностроении: новые источники роста: материалы V Всероссийской научно-практической конференции. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2022.

Process Mining technologies in the task of Unmanned Aerial Systems maintenance optimization

[1]Kandyba K.S., [2]Egorova A.A.

[1]JSC Kronshtadt, [2]MSTUCA, Moscow, Russia

Unmanned aerial systems (UAS) are an aerospace promising direction. One of the basic principles for unmanned aerial vehicles (UAV) integration into a public airspace is compliance with the established technical requirements in the field of flight safety (FS).

An essential technical factor that directly affects the FS is to ensure the functioning of an efficient and reliable aircraft maintenance system (MS). Efficiency is measured safe operation with minimal labor, time and material costs [1] (increase in technical availability function and supportability).

The maintenance, repair, and overhaul (MRO) processes are complex, and include the analysis of a huge amount of operational data, diagnosing and predicting the equipment technical condition. Unlike the stages of design and production, the aircraft operation management is not sufficiently provided with high-tech solutions and is limited mainly by the use of reference systems and MRO planning systems.

Process Mining are applicable for extracting, analyzing and optimizing business processes in various industry directions, including the aerospace. Process Mining algorithms use information systems event logs as input, an automatically synthesized and optimized process model is the result [2].

In the task of optimizing UAS MS, event logs are formed in the MRO planning information system and represent ordered and time-fixed lists of events occurring during the aircraft operation. The main events are: maintenance operations, with additional properties can be associated (for example, resource data). For the MRO process model verification and validation, failuries statistical information and the archive of the UAV on-board measurement system recorded at the testing stage are used [3].

The realization of Process Mining algorithms and optimization of the UAS MS model as a plugin for information systems are proposed. In the perspective of research, the plugin can be integrated into the information complex for managing the aerospace product life cycle.

References:

1. Sudov E.V., Petrov A.N., Petrov A.V., Osyaev A.T., Serebryansky S.A. Technologies of integrated logistics support in the processes of the life cycle of aviation equipment. LLC "Editus. 2018.

2.W.M.P. van der Aalst. Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes. Springer-Verlag, Berlin, 2011.

3. Kandyba K.S. Design stages of operational digital twins in aircraft engineering // Management systems for the full life cycle of high-tech products in mechanical engineering: new sources of growth: materials of the V All-Russian Scientific and Practical Conference. Moscow: MSTU im. N.E. Bauman (National Research University), 2022.

Проведение исследования и анализа спутников связи Земли

Карпухина А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Спутники связи играют жизненно важную роль в современном мире. Они служат для ретрансляции сигналов телевизионного вещания, телефонной связи и цифровой информации для систем электросвязи глобального географического масштаба.

В настоящее время используется более 2000 искусственных спутников. Они размещаются, как правило, на геостационарной, высокоэллиптической, средней и низкой околоземных орбитах и используются для традиционной двухточечной связи, мобильных приложений и распространения теле- и радиопрограмм.

При создании будущей системы невозможно детально предусмотреть все возможные варианты конструкции с нуля, что представляет некую трудность на этапе эскизного проектирования спутника. Во время проектирования, большинство исследований основывается в некоторой степени на отношения масштабирования (например, отношения оценки массы или мощности), полученные на основе эмпирических данных. Имеющиеся данные о спутниках связи относятся в первую очередь к геосинхронным орбитальным (ГСО) системам. Однако, возобновился интерес к негеостационарным системам на низких и средних околоземных орбитах (НОО, СОО). К сожалению, скейлинговые модели, имеющиеся в настоящее время в литературе, являются слишком общими или устаревшими, ввиду их быстрого развития и не дают информации об области применимости спутников связи, а также взаимосвязей между их атрибутами.

Целью данной работы является визуализация и последующий анализ данных из базы данных UCS, путем составления наглядных гистограмм, таблиц, блочных диаграмм, точечных графиков, а также диаграмм рассеивания, которые будут иллюстрировать корреляцию, использующуюся для установления общих критериев планирования космических аппаратов.

Исследуемая база данных открыта, свободно распространяема и содержит информацию о спутниках на орбите Земли, такую, как название, оператор, производитель, страна регистрации, страна, в которой находится оператор, тип пользователя (гражданский, коммерческий или военный), назначение полезной нагрузки (связь, наблюдение Земли), дата запуска, параметры орбиты и т. д. База данных обновляется каждый квартал и доступна на веб-сайте UCS [1].

В ходе исследования:

1. Составлена основная статистическая информация о активных спутниках.

2. Выявлен перечень стран, а также представлена оценка активности космического сектора страны.

3. Получена информация о наиболее популярном месте запуска спутников и используемой ракеты-носителя для запуска.

4. Построена гистограмма, демонстрирующая соотношение количества активных спутников на класс орбит.

5. Изучены операторы спутниковых систем, запускающих спутники в коммерческих целях.

6. Изучены цели использования спутников на геостационарной орбите.

7. Изучены основные взаимосвязи между атрибутами спутников.

8. Проведено моделирование взаимосвязей между атрибутами спутников, таких, как взаимосвязь между сухой массой космического аппарата и его мощностью.

Для визуализации, анализа и моделирования использовался язык Python с применением библиотеки sklearn.

Литература:

1. База данных для исследования. [Electronic resource] URL: https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database (access date: 17.10.2022).

2. Основная информация о спутниках связи. [Electronic resource] URL: https://hi-news.ru/eto-interesno/kak-ustroeny-kubsaty-cubesat.html (access date: 18.10.2022).

Conducting research and analysis of the communication of the Earth's satellites

Karpuhina A.V.

MAI, Moscow, Russia

Communications satellites play a vital role in today's world. They are used to retransmit television broadcasting signals, telephone communications and digital information for telecommunications systems on a global geographic scale.

More than 2,000 artificial satellites are currently in use. They are generally located in geostationary, highly elliptical, medium and low-Earth orbits and are used for conventional two-point communications, mobile applications and TV and radio programme distribution.

When building a future system, it is impossible to envision every possible design option in detail from the ground up, which is something of a challenge during the conceptual design phase of a satellite. During the design phase, most research relies to some degree on scaling relationships (e.g., mass or power estimation relationships) derived from empirical data. The available data on communications satellites relate primarily to geosynchronous orbital (GEO) systems. However, there is renewed interest in non-geostationary systems in low and medium earth orbits (LEO, LEO). Unfortunately, the scaling models currently available in the literature are too general or outdated, due to their rapid development, and do not provide information on the applicability of communications satellites and the relationships between their attributes.

The purpose of this work is to visualize and subsequently analyze data from the UCS database, by producing illustrative histograms, tables, block diagrams, dot plots, and scatter plots that will illustrate the correlation used to establish common spacecraft planning criteria.

The database under study is open, freely distributable, and contains information about satellites in Earth orbit, such as name, operator, manufacturer, country of registration, country where operator is located, user type (civil, commercial, or military), payload purpose (communications, Earth observation), launch date, orbit parameters, etc. The database is updated every quarter and is available on the UCS website [1].

In the course of the study:

1. Basic statistical information on active satellites is compiled.

2. A list of countries is identified, and an assessment of the activity of the country's space sector is presented.

3. The information on the most popular satellite launching site and the launch vehicle used for launching is obtained.

4. A histogram showing the ratio of the number of active satellites per class of orbits is plotted.

5. Operators of satellite systems launching satellites for commercial purposes were studied.

6. The uses of satellites in geostationary orbit are studied.

7. The basic relationships between satellite attributes are studied.

8. Simulation of the relationships between satellite attributes, such as the relationship between the dry mass of the spacecraft and its power was conducted.

Python language using sklearn library was used for visualization, analysis and modeling.

References:

1. Database with data for the study. [Electronic resource]. URL: https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database (access date: 17.10.2022).

2. Basic information about cubesats. [Electronic resource]. URL: https://hi-news.ru/eto-interesno/kak-ustroeny-kubsaty-cubesat.html (access date: 18.10.2022).

Применение алгоритмов нейронных сетей для автоматической генерации по запросу в текстовом формате

Касатиков Н.Н., Фадеева А.Д., Пархаев В.А.

МАИ, г. Москва, Россия

На данный момент применение нейронных сетей осуществляется в каждой сфере. Применение нейронных сетей значительно ускоряет процесс работы с данными и упрощает человеческий труд. В своем сообщении мы расскажем о работе нашей программы по выполнению генерации картинки по текстовому описанию. Ведь, конечно, гораздо проще получать информацию сразу после написания текстовых данных, доверь процесс создания компьютеру.

Задача по созданию искусственным интеллектом фотографий одна из самых популярных тем в сфере нейронных сетей. Флагманом в данной отрасли является OpenAI, так же недавно компания Google запустил свой сервис по преобразованию текста в видео. В нашем исследовании, большое внимание было уделено сети MIDJourney, ставшую одним из открытий в мире AI. Нашу программу мы делаем на базе открытой библиотеки Ru-Dalle, посчитав ее наиболее подходящим вариантом для использования.

В нашем сообщении, мы предоставляем результаты работы программы и предложения по практической реализации в тестовом режиме. На выходе наша программа выдает сначала сборник картинок, которые подходят по этому запросу. В дальнейшем мы получаем 3 фотографии, которые выбрал искусственный интеллект. Мы считаем, наша программа может помочь, в разнообразных сферах деятельности. Например, помощь психологам для прохождения разнообразных тестов, воспитателям в детских садах при обучении детей, и в службах государственной важности для проектировки территорий и городских поселений в сочетании с IoT-технологией. Использование нейронных сетей так же подразумевает написание и создание художественных картин, которые могут конкурировать с написанными человеком.

Application of neural network algorithms for automatic generation on demand in text format

Kasatikov N.N., Fadeeva A.D., Parkhaev V.A.

MAI, Moscow, Russia

At the moment, the use of neural networks is carried out in every area. The use of neural networks significantly speeds up the process of working with data and simplifies human work. In our message, we will talk about the work of our program for generating images from a text description. After all, of course, it is much easier to receive information immediately after writing text data, entrust the creation process to a computer.

The task of creating artificial intelligence photos is one of the most popular topics in the field of neural networks. The industry flagship is OpenAI, and Google recently launched its text-to-video conversion service. In our study, much attention was paid to the MIDJourney network, which has become one of the discoveries in the world of AI. We make our program based on the Ru-Dalle open library, considering it the most suitable option for use.

In our message, we provide the results of the program and suggestions for practical implementation in test mode. At the output, our program first produces a collection of pictures that match this query.

In the future, we get 3 photos that the artificial intelligence has chosen. We believe our program can help in a variety of areas. For example, assistance to psychologists for passing various tests, kindergarten teachers in teaching children, and in public services for the design of territories and urban settlements in combination with IoT technology. The use of neural networks also involves the writing and creation of artistic paintings that can compete with those painted by a person.

Внедрение предметно-специфичных языков программирования в аэрокосмической отрасли как элемент перехода к индустрии 4.0

Кейно П.П., Силуянов А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Непрерывная автоматизация технологических процессов в промышленности является первостепенной задачей оптимизации. Построение эффективных технологических процессов позволяет экономить материальные и нематериальные ресурсы. Однако, с другой стороны, каждый технологический процесс требует индивидуальной проработки, поскольку обладает своей спецификой. Чтобы все усилия были максимально направлены на решение таких задач, а не на выстраивание примитивной и тривиальной бизнес-логики, необходимо повышение уровня абстракции, что, зачастую, сопряжено с разработкой нового предметно-специфичного языка программирования (Domain-Specific Language, DSL).

В первую очередь анализируется предметная область и выделяются её общие сущности, которые могли бы изменять свои свойства на основе моделей поведения в зависимости от выполняемого процесса. Чем меньше будет повторяющихся сущностей в описании модели и чем короче будет это описание, тем выразительнее будет язык. То есть важным критерием эффективности разрабатываемого языка будет переиспользуемость одних и тех же сущностей с широким набором настраиваемых параметров.

Разумеется, это так же зависит и от навыков разработчика, однако в высокоуровневом предметно-специфичном языке управление происходит на основе моделей, излишнее порождение которых затруднено исходя из реализации языка. Всё, что остаётся сделать разработчику – правильно выделить эти модели, сконфигурировать их свойства и выстроить связи между ними. Такой подход называется разработкой, управляемой моделями (Model-Driven development, MDD).

Следующим важным фактором является наличие среды разработки на целевом языке. В идеале, это должны быть готовые CASE-средства, реализующие принципы визуального программирования. Как правило, предметно-специфичный язык является языком сверхвысокого уровня, а парадигма MDD позволяет небольшими усилиями визуализировать весь синтаксис языка.

Так же необходимо понять, какова будет среда исполнения данного языка. Это может быть, как компилятор или интерпретатор, так и кодогенератор. Например, нередки решения, представляющие собой надстройки над существующими технологиями и языками программирования. Зачастую для таких программных пакетов, как 1С или Directum в корпоративной среде применяются собственные наработки, позволяющие автоматизировать создание тех или иных моделей с помощью внешних программных комплексов со встроенными DSL. Инструментальных средств, позволяющих выполнить подобные задачи на таких языках программирования, как Java, Python, C# и др. имеется и гораздо больше.

Таким образом, создание собственного предметно-специфичного языка для перехода на рельсы индустрии 4.0 является актуальной темой, поскольку затрагивает все аспекты промышленности. Это может включать в себя искусственный интеллект, робототехнику, транспорт, дополненную и виртуальную реальность, метавселенные, разработку богатых (rich) динамических веб-приложений, интернет вещей, когнитивные технологии и многое другие.

The introduction of domain-specific programming languages in the aerospace industry as an element of the industry 4.0 transformation

Keyno P.P., Siluyanov A.A.
MAI, Moscow, Russia

Continuous process automation in industry is a top priority for optimization. The construction of efficient technological processes allows saving material and non-material resources. However, on the other hand, each technological process requires individual study, since it has its own specifics. In order for all efforts to be maximally focused on solving such problems, and not on building primitive and trivial business logic, it is necessary to increase the level of abstraction, which often involves the development of a new domain-specific programming language (Domain-Specific Language, DSL).

First of all, the subject area is analyzed and its general entities are identified, which could change their properties based on behavior models depending on the process being performed. The fewer recurring entities in the description of the model and the shorter this description is, the more expressive the language will be. That is, an important criterion for the effectiveness of the developed language will be the reusability of the same entities with a wide range of customizable parameters.

Of course, this also depends on the skills of the developer, but in a high-level domain-specific language, control is based on models, the excessive generation of which is difficult based on the implementation of the language. All that remains for the developer to do is to correctly select these models, configure their properties and build relationships between them. This approach is called Model-Driven Development (MDD).

The next important factor is the availability of a development environment in the target language. Ideally, these should be ready-made CASE tools that implement the principles of visual programming. As a rule, a domain-specific language is a super-high-level language, and the MDD paradigm allows you to visualize the entire syntax of the language with little effort.

It is also necessary to understand what will be the execution environment of this language. It can be either a compiler or an interpreter, or a code generator. For example, there are often solutions that are add-ons to existing technologies and programming languages. Often, for such software packages as 1C or Directum in a corporate environment, their own developments are used to automate the creation of certain models using external software systems with built-in DSL. There are many more tools that allow you to perform similar tasks in programming languages such as Java, Python, C #, etc., and there are much more.

Thus, creating your own domain-specific language for the transition to industry 4.0 is a hot topic, as it affects all aspects of the industry. This can include artificial intelligence, robotics, transportation, augmented and virtual reality, metaverses, rich dynamic web application development, internet of things, cognitive technologies, and more.

Интеллектуальная система по выявлению инцидентов дискредитации органов государственной власти с целью построения иерархической модели координаторов в сегментах сети интернет

Клочкова Е.Н., Аветисян К.Р.
МосУ МВД России им. В.Я. Кикотя, г. Москва, Россия

При формировании механизма выявления ключевых субъектов в «Иерархической модели» дискредитации органов государственной власти в сегментах сети Интернет были выделим ряд признаков, которыми обладают целенаправленно продвигаемые противником инфоповоды:

• Направленность, в отношении какой категории или лица осуществляется информационная акция, как правило целью ставится компрометация «публичных/первых лиц», формирование негативного общественного мнения в отношении представителей органов государственной власти;

• Аудитория, на которую направлена интерпретация инфоповода, информационная акция, – зачастую в центрах информационно-психологических операций и курирующих их специальных подразделений целевой аудиторией выступают лица с отсутствием эмпирического опыта обсуждаемых ими событий, импульсивно принимающие решения, с

ярко выраженными нигилизмом в отношении государственных и семейных институтов, основанном на максимализме;

• Площадки «распространения», – наиболее актуальными площадками коммуникации выступают социальные сети, форумы, видеохостинги и другие «занятые оккупированные» молодежью сегменты сети.

Целесообразно рассматривать градацию элементов иерархической модели дискредитации государственной власти:

• Транснациональный уровень (мировые СМИ);

• Руководители крупных корпораций и их официальные представители;

• Медийные личности «лидеры мнений», агитирующих в сети Интернет.

Выявлять и анализировать массивы данных (текстовых) следует посредствам нейросетевых классификаторов, основанных на семантическом анализе.

Актуальный словарь при обучении должен включать от 100 000 новостей за последние 5 лет по одному языку.

Реализация указанных решений построена на основе нейронной сети ResNet – 18. При решении указанных задач используются языки программирования: Python и JAVA, с фреймворком: Flask и библиотеками: OpenCV, Keras, TensorFlow, lxml, BeautifulSoup, Pandas, Request, GenSim. Тест реализован по двум методам: skip-gram и cbow.

Использованные модели: логистическая регрессия; SVM (с использованием только ядра RBF); RandomForestClassifier; AdaBoostClassifier; LightGBM (LGBMClassifier*).

Решение повышает эффективность работы при выявлении инцидентов распространения ложной информации в сети, а также установлению «мостов-координаторов».

An intelligent system for identifying incidents of discrediting state authorities in order to build a hierarchical model of coordinator in internet segments

Klochkova E.N., Avetisyan K.R.

MosU of the MIA named by V.Ya.Kikotya, Moscow, Russia

When forming a mechanism for identifying key actors in the "Hierarchical Model" of discrediting public authorities in Internet segments, we have identified a number of features that are purposefully promoted by the enemy information cam-paign:

• The orientation, in relation to which category or person the information campaign is carried out, as a rule, the goal is to compromise «public/top officials», the formation of negative public opinion in relation to representatives of state au-thorities;

• The audience to which the interpretation of the information guide, the in-formation campaign is directed – often in the centers of information and psycholog-ical operations, supervising their special units, the target audience is persons with a lack of empirical experience of the events they discuss, impulsively making deci-sions, with pronounced nihilism towards state and family institutions based on youth exuberance;

• «distribution» platforms, – the most relevant communication platforms are social networks, forums, video hosting and other «occupied» segments of the net-work occupied by young people.

It is advisable to consider the gradation of the elements of the hierarchical model of discrediting state power:

• Transnational level (world media);

• Heads of large corporations and their official representatives;

• Media personalities «opinion leaders» campaigning on the Internet.

It is necessary to identify and analyze arrays of data (text) by means of neural network classifiers based on semantic analysis.

An up-to-date dictionary during training should include at least 100,000 news for the last year in one language.

The implementation of these solutions is based on the ResNet – 18 neural network. When solving these tasks, programming languages are used: Python and JAVA, with the framework: Flask and libraries: OpenCV, Keras, TensorFlow, lxml, BeautifulSoup, Pandas, Request, GenSim. The test is implemented using two methods: skip-gram and cbow.

Models used: logistic regression; SVM (using only RBF core); Random-ForestClassifier; AdaBoostClassifier; LightGBM (LGBMClassifier.

The solution increases the efficiency of work in identifying incidents of spreading false information on the network, as well as the establishment of coordi-nators.

Проблема поиска оптимальных абстракций при использовании подходов MDA для разработки web-приложений

Козырев Н.А., Кейно П.П.
МАИ, г. Москва, Россия

На заре интернета web-приложения являлись статическими страничками, предоставляющими пользователю лишь заранее подготовленую информацию, однако скоро возникла потребность в динамике, в основе которой обязательно должны лежать манипуляции с данными, выполняемые автоматически взависимости от действий пользоателя в приложении. Для реализации такого функционала сначала использовались программы на языках общего назначения, выполняемые в среде cgi, но вскоре им на замену пришли языки высокого уровня, предназначенные непосредственно для решения описанных задач, однако они всё ещё оперировали конструкциями, не привязанными к данной предметной области, а так же имели императивную модель. Колосальную часть времени при разработки таким методом занимал именно процесс трансофрмации требуемой модели ресурса в программу, которая бы её обоеспечивала.

Решением этой проблемы стало использование подхода MDA (Model driven architecture), в основе которого лежит использование продекларированной модели как управляющего элемента приложения, в то время как процес трансформации в исполняемую логику полностью всё же имеет место, но выполняется полностью автономно интерпретатором. На вход интерпретатор принимает модель, описанную с помощью деклараивного предметно-ориентированного языка. Выбор абстрактных сущностей, используемыз в таком языке имеет ключевое значение, т.к. определяет не только степень их близости к предметной оласти, но и функциоал доступный для оеализации по средстваи таких абстракций.

Для реализации подхода MDA предметной области web-приложений был разработан язык инструментарий BlockSet, одним из основных инструментов которого является декларативный предметно-ориентированный язык BML. При выборе абстракций для него было уделено внимание анализу сущностей, с которыми пользователь сталкивается в первую очередь при работе с приложением. Было выделено 4 наиболее очевидных сущности:

- блок – минимальная ячейка данных;
- набор – объединение блоков или других набор;
- локация – страница приложения;
- модель – межстраничная взаимосвязь сетов и блоков.

Такой набор абстракций имеет тексную связь с предметной областью т.к. локаничен и нагляден – при взгляде на страницу практически любого web-приложение можно сразу их определить. При этом он достаточно гибок благодаря рекурсивности наборов, а так же представимоссти их связей в низкоуровневых терминах базы данных.

Исходя из вышесказанного реализация MDA в проекте BlockSet является близкой к оптимальной, т.к. удвлетворяет дребованиям близости к предметной области, а так же представляет широкие возможости масштабируемости и шибкости для разработки динамических web-приложений.

The problem of finding optimal abstractions when using MDA approaches for developing web applications

Kozyrev N.A., Keyno P.P.
MAI, Moscow, Russia

At the dawn of the Internet, web applications were static pages that provided the user with only pre-prepared information, but soon there was a need for dynamics, which must necessarily be based on data manipulations performed automatically depending on the actions of the user in the

application. To implement such functionality, at first, programs in general-purpose languages executed in the cgi environment were used, but soon they were replaced by high-level languages \u200b\u200bdesigned directly for solving the described tasks, however, they still operated with constructs that were not tied to a given subject area, and so had an imperative model. The colossal part of the time during the development by this method was occupied by the process of transforming the required resource model into a program that would provide it.

The solution to this problem was the use of the MDA (Model driven architecture) approach, which is based on the use of the declared model as a control element of the application, while the process of transformation into executable logic still takes place, but is performed completely autonomously by the interpreter. As input, the interpreter takes a model described using a declarative domain-specific language. The choice of abstract entities used in such a language is of key importance, since determines not only the degree of their proximity to the subject area, but also the functionality available for generalization by means of such abstractions.

To implement the MDA approach of the subject area of web applications, the BlockSet toolkit language was developed, one of the main tools of which is the declarative domain-specific language BML. When choosing abstractions for it, attention was paid to the analysis of entities that the user encounters in the first place when working with the application. 4 most obvious entities were identified:

- block – minimum data cell;
- set – combination of blocks or other set;
- location – application page;
- model – inter-page interconnection of sets and blocks.

Such a set of abstractions has a tex connection with the subject area. concise and visual - when looking at the page of almost any web application, you can immediately identify them. At the same time, it is quite flexible due to the recursiveness of the sets, as well as the representability of their relationships in low-level terms of the database.

Based on the foregoing, the implementation of MDA in the BlockSet project is close to optimal, since satisfies the requirements of proximity to the subject area, and also provides ample opportunities for scalability and flexibility for developing dynamic web applications.

Синтез робастных алгоритмов системы автоматического управления конвертоплана

Ковалева Е.А., Бибикова К.И., Аполлонов Д.В., Шибаев В.М.
ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Среди летательных аппаратов стремительно развивающейся беспилотной авиации особый интерес представляют БЛА преобразуемого типа, например, конвертопланы. Особенности аэродинамической компоновки таких аппаратов расширяют диапазон возможных сценариев применения, поскольку БЛА типа «конвертоплан» обладает преимуществами самолетных и вертолетных компоновок.

Несмотря на все преимущества своей компоновки с точки зрения универсальности применения, БЛА конвертируемой схемы не получили до настоящего времени широкого распространения, в частности, из-за сложности проектирования и реализации САУ такого аппарата, поскольку динамика конвертоплана характеризуется наличием, во-первых, существенно нелинейных, а во-вторых, изменяющихся в процессе полета характеристик, в особенности – на переходных режимах от висения к крейсерскому полету и обратно. В данной работе при формировании алгоритмов САУ были рассмотрены два метода управления нелинейными объектами, основанные на безусловном выполнении условия устойчивости по Ляпунову: метод бэкстеппинга и скользящий режим с использованием нечеткой логики. Бэкстеппинг – это метод синтеза системы автоматического управления для нелинейных объектов управления, предполагающий выполнение критерия устойчивости по Ляпунову, при котором знак произведения функции Ляпунова и её производной будет отрицательным. Управление с регулятором на основе скользящего режима предполагает, что параметры состояния системы направляются к соответствующим образом выбранной желаемой поверхности, называемой поверхностью скольжения.

В работе был проведен сравнительный анализ чувствительности исследуемых алгоритмов к изменению характеристик системы. В частности, исследовано качество переходных процессов при изменении эффективности управления и воздействии шума. Проведено сравнение работы исследуемых алгоритмов с эталонной моделью и широко распространенным алгоритмом управления – пропорционально-дифференциальным регулятором (ПД-регулятор) – при влиянии поставленных условий.

В результате проведенных исследований был сделан вывод о применимости выбранных алгоритмов для проектирования САУ беспилотного летательного аппарата типа конвертоплан. Применение данных алгоритмов может обеспечить робастность САУ конвертоплана в отношении наличия неточностей в определении параметров модели динамики объекта управления и при воздействии внешних возмущений.

1. Аполлонов Д.В., Бибикова К.И., Гаврилова А.В., Шибаев В.М. Вопросы выбора архитектуры системы автоматического управления, преобразуемого беспилотного летательного аппарата – «конвертоплана» // Труды МАИ. 2021. №121.

2. Jian Wang. Novel Control Approaches to Quadrotors Inspired by Dynamic Inversion and Backstepping, 2015.

3. Любич Л. Я. Автоматическое управление посадкой квадрокоптера на движущееся основание, 2016.

4. Чебыкин Д.В. Backstepping – метод синтеза управления для нелинейных объектов, 2015.

5. Aminurrashid Noordin, Mohd Basri. Sliding Mode Control with Tanh, 2021.

6. Jinkun Liu, Xinhua Wang. Advanced Sliding Mode Control for Mechanical Systems. Design, Analysis and MATLAB Simulation, 2012.

7. Kriuaya Runcharoon. Sliding Mode Control of Quadrotor, 2013.

8. Samir Zeghlache, Abderrahmen Bouguerra et al. Backstepping sliding mode controller improved with fuzzy logic. Application to the quadrotor helicopter, 2012.

Robust algorithms synthesis for tiltrotor automatic control system

Kovaleva E.A., Bibikova K.I., Apollonov D.V., Shibaev V.M.
TsAGI, Zhukovsky, Russia

Among unmanned aerial vehicles of the rapidly developing unmanned aircraft, the convertible UAVs such as tilt rotor are of particular interest. Specific features of aerodynamic configuration of such aircraft extend the range of probable application scenarios because tilt rotor UAV have advantages of both aircraft and helicopter configurations.

Despite all the advantages the configuration offers in terms of multipurpose application, convertible UAVs have not been widely used so far, in particular, due to ACS complex design process and implementation for such aircraft: tilt rotor dynamics is characterized by, firstly, essentially nonlinear and, secondly, changing characteristics in flight, especially in transient modes from hovering to cruise flight and conversely. In the paper, during forming ACS algorithms, two nonlinear object control methods were discussed based on absolute satisfaction of the Lyapunov stability condition: backstepping control and sliding mode control using fuzzy logic. Backstepping control is the ACS synthesis method for nonlinear control objects which suggests meeting Lyapunov stability criterion in which the product sign of the Lyapunov function and its derivative is negative. Control by regulator based on sliding mode control assumes that system state variables are directed towards the appropriately selected desired surface named sliding surface.

In the paper, comparative analysis of studied algorithms sensitivity to changing system characteristics was conducted. In particular, the transient process quality with changing control efficiency and noise influence was investigated. Operation of studied algorithms based on reference model and conventional control algorithm – proportional-differential controller (PD-controller) – under the influence of the set conditions was compared.

As a result of the conducted research the conclusion about applicability of selected algorithms for tilt rotor UAV ACS design was made. Application of these algorithms may provide tilt rotor ACS robustness with regard to inaccuracies in identifying control object dynamics model parameters and under external disturbances influence.

1. Apollonov D.V., Bibikova K.I., Gavrilova A.V., Shibaev V.M.. Issues of chosen automatic control system architecture of the convertible unmanned aerial vehicle– «tiltrotor» // Trudy MAI. 2021. №121.
2. Jian Wang. Novel Control Approaches to Quadrotors Inspired by Dynamic Inversion and Backstepping, 2015.
3. Lubich L.Y., Automatic control landing of the quadrotor on the movable ground, 2016.
4. Chebykin D.V. Backstepping – synthesis control method of the nonlinear objects, 2015.
5. Aminurrashid Noordin, Mohd Basri. Sliding Mode Control with Tanh, 2021.
6. Jinkun Liu, Xinhua Wang. Advanced Sliding Mode Control for Mechanical Systems. Design, Analysis and MATLAB Simulation, 2012.
7. Kriuaya Runcharoon. Sliding Mode Control of Quadrotor, 2013.
8. Samir Zeghlache, Abderrahmen Bouguerra et al. Backstepping sliding mode controller improved with fuzzy logic. Application to the quadrotor helicopter, 2012.

Разработка системы автоматического управления выравниванием по методу «погони за целью»

Колбасов В.Н., Гребёнкин А.В.
ПАО «МИЭА», г. Москва, Россия

В настоящее время авиаперелёты и авиаперевозки очень прочно вошли в нашу жизнь. С каждым годом потребность в них продолжает расти, увеличивается трафик воздушных судов, а требования к безопасности, экономичности и комфорту становятся всё более жесткими. В связи с этим всё более остро стоит вопрос об автоматизации полёта на всех его этапах. Подобные задачи призваны как снизить нагрузку на пилотов, так и повысить общую безопасность и комфорт полётов.

Из всех этапов полёта рассмотрим этап посадки. Посадка является заключительным и наиболее важным этапом полёта. Несмотря на то, что посадка занимает всего лишь около 3 процентов от времени полёта, именно на ней происходит наибольшее количество аварийных ситуаций. Посадка является сложным этапом полёта, это связано с тем, что посадка представляет собой довольно загруженный этап полёта. В неё входит множество подъэтапов, на каждом из которых требуется вести постоянный мониторинг всех параметров полёта.

Посадка разделяется на категории. Категории посадки выделяют следующие: 1,2,3а и 3б. Категории различаются высотой, до которой производится посадка в автоматическом режиме, допустимой дальностью видимости, а также количеством выполняемых этапов. С точки зрения управления посадка так же разделяется на продольный и боковой каналы.

Данная работа направлена на заключительный этап посадки по категории 3а, выравнивание. В работе предполагается решение этой задачи с применением собственного алгоритма условно названного «погоня за целью». Особенностью алгоритма является способ задания траектории движения на выравнивании. Он основан на оценке параметров самолёта на момент начала работы. Данный алгоритм является собственной разработкой и призван расширить допустимый диапазон эксплуатации самолёта и повысить надёжность выполнения этапа. Основным способом оценки качества работы алгоритма является контроль параметров приземления, параметров полёта и характер переходного процесса.

В настоящий момент данный алгоритм реализован в среде имитационного моделирования и интегрирован в систему автоматического управления самолёта. Алгоритм показал высокую степень надёжности и высокое качество выполнения этапа выравнивания, что является основанием для дальнейшего его использования на самолёте.

Development of automatic flareout system using "pursuit of the target" algoritm

Kolbasov V.N., Grebenkin A.V.
MIEA, Moscow, Russia

Currently, air travel and air transportation are very firmly established in our lives. Every year the need for them continues to grow, the traffic of aircraft increases, and the requirements for safety, efficiency and comfort become more and more stringent. In this regard, the issue of flight automation

at all its stages is becoming more and more acute. Such tasks are designed both to reduce the burden on pilots and to increase the overall safety and comfort of flights.

Of all the stages of flight, consider the landing stage. Landing is the final and most important stage of the flight. Despite the fact that landing takes only about 3 percent of the flight time, it is on it that the greatest number of accidents occur. Landing is a difficult phase of flight, this is due to the fact that landing is a fairly busy phase of flight. It includes many sub-stages, each of which requires constant monitoring of all flight parameters.

Landing is divided into categories. The landing categories are as follows: 1,2,3a and 3b. The categories differ in the height to which landing is made in automatic mode, the permissible visibility range, as well as the number of stages performed. In terms of control, landing is also divided into longitudinal and lateral channels.

This work is aimed at the final stage of landing in category 3a, flareout. The paper proposes a solution to this problem using its own algorithm, conventionally called "pursuit of the goal". A feature of the algorithm is the way to set the trajectory of movement on flareout. It is based on an assessment of the parameters of the aircraft at the start of work. This algorithm is our own development and is designed to expand the allowable range of aircraft operation and increase the reliability of the stage. The main way to assess the quality of the algorithm is to control the landing parameters, flight parameters and the nature of the transition process.

At the moment, this algorithm is implemented in the simulation environment and integrated into the automatic control system of the aircraft. The algorithm showed a high degree of reliability and high quality of the flareout stage, which is the basis for its further use on the aircraft.

Вероятностная модель изготовления бездефектной печатной платы в зависимости от параметров ее проектирования на этапе сверления отверстий

Коробков М.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Одной из причин снижения надежности печатных плат (ПП) являются дефекты, возникающие на операции сверления переходных и монтажных отверстий из-за трудностей их совмещения с проводящим рисунком [1]. Проблема особенно актуальна с учетом растущих требований к уменьшению размеров электронных устройств и расширению их функциональных возможностей, что влечет за собой увеличение плотности межсоединений и уменьшение размеров проводящего рисунка.

На основе требований к приемке ПП, описанных в стандартах IPC-A-600G и IPC-6012B, сформированы критерии определения дефекта в области контактной площадки (КП), зависящие от класса надежности устройства. Со стороны процесса сверления определен закон распределения, описывающий смещение отверстия относительно центра КП, на основе которого построена аналитическая модель, определяющая вероятность изготовления бездефектной печатной платы в зависимости от размера КП, диаметра отверстия, а также погрешности операции сверления.

Затем проведено расширение модели путем добавления к КП проводника. Для этого геометрия проводящего рисунка описана в виде функциональных зависимостей и наложены дополнительные ограничения на максимально допустимые смещения центра отверстия в области соединения КП и проводника. Анализ результатов полученной модели показал, что вероятность изготовления композиции «КП-проводник» значительно ниже, чем у отдельной КП, что определяет необходимость добавления локального расширения в области соединения КП и проводника, т.е. проектирования КП в форме капли. Необходимые размеры КП каплевидной формы также могут быть определены с помощью разработанной модели.

Полученная модель может быть использована в качестве критерия количественной оценки качества ПП, а ее использование в процессе разработки позволит определить необходимые параметры конструирования ПП в зависимости от технологических параметров операции сверления и класса надежности устройства.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FSFF-2020-0015).

Литература:
1. Ванцов С.В., Медведев А.М., Маунг-Маунг З., Хомутская О.В. Анализ процесса сверления отверстий в композиционных материалах оснований печатных плат. Надежность и качество сложных систем, 2016, 2 (14). с. 37-44.

A probabilistic model for the manufacture of a defect-free printed circuit board depending on its design parameters at the stage of hole drilling

Korobkov M.A.
MAI, Moscow, Russia

One of the reasons for the reliability decreasing of printed circuit boards (PCB) are defects that occur during the drilling of vias and holes due to the difficulties of combining them with a conductive pattern [1]. The issue is especially relevant given the growing requirements for reducing the size of electronic devices and expanding their functionality. It requires an increase the density of interconnects and a decrease the conductive pattern size.

Based on the requirements for acceptance of the PCB, described in the IPC-A-600G and IPC-6012B standards, criteria of a defect in the contact pad (CP) area, depending on the reliability class of the device, are formed. From the side of the drilling process, a distribution law is determined that describes the displacement of the hole relative to the center of the PCB. It allows to build an analytical model that determines the probability of manufacturing a defect-free PCB depending on the CP size, the hole diameter, and the drilling operation error.

Then, the model was expanded by adding a conductor to the CP. To do this, the geometry of the conductive pattern is described in the form of functional dependencies and additional restrictions are imposed on the maximum allowable displacements of the hole center in the conductor junction area. An analysis of the results of the obtained model showed that the probability of manufacturing the "CP-conductor" composition is significantly lower than that of an only CP. It determines the need to add a local expansion in the conductor junction area, i.e. designing a teardrop CP. The required dimensions of the drop-shaped CP can also be determined using the developed model.

The resulting model can be used as a quantifying criterion of PCB, and its use in the development process will allow determining the necessary PCB design parameters, depending on the manufacturing parameters of the drilling operation and the reliability class of the device.

The work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic No. FSFF-2020-0015).

References:
1. Vantsov S.V., Medvedev A.M., Maung-Maung Z., Khomutskaya O.V. Analysis of the process of drilling holes in composite materials of printed circuit board bases. Reliability and quality of complex systems, 2016, 2 (14). pp. 37-44.

Устройство защиты бортовой радиоэлектронной аппаратуры от сверхкороткого импульса в дифференциальном и синфазном режимах

Костелецкий В.П.
ТУСУР, г. Томск, Россия

При разработке бортовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) для космических аппаратов (КА) предъявляют повышенные требования к надежности. Так, например, выведенный на орбиту искусственный спутник может функционировать более 10 лет, при этом его электрические характеристики должны изменяться лишь в установленном разработчиками диапазоне. Также необходимо обеспечивать защиту отдельных элементов РЭА КА от сверхширокополосных преднамеренных воздействий к которым относят сверхкороткие импульсы (СКИ) [1]. Амплитуда произвольной помехи в паре линий передачи, которой является цепь питания КА, описывается комбинацией синфазной и дифференциальной составляющих. Поэтому для обеспечения защиты от СКИ, распространяющегося по цепям питания КА, необходимо осуществлять защиту в дифференциальном и синфазном режимах [2]. Для повышения надежности компоненты РЭА КА изготавливают из материалов, которые наименее подвержены деградации в условиях космического пространства. Для работы в

составе шины распределения электропитания КА разработано устройство защиты, представляющее из себя полосковую структуру на подложке из оксида алюминия. Использование керамического материала при его разработке позволило уменьшить размеры готового изделия, а также увеличить его коэффициент ослабления. Для проведения экспериментальных исследований в частотной области использован четырехпортовый векторный анализатор цепей E5071C компании Agilent Technologies. Для получения результатов эксперимента во временной области в ПО ADS задана модель четырехпортового устройства, определенная S-параметрами. Затем на вход модели частотно-определенного устройства подается воздействие СКИ с амплитудой э.д.с. 500 мВ и длительностью 300 пс по уровню 0,5. Результаты показали, что в дифференциальном режиме значение максимального напряжения на выходе устройства защиты (Umax) составило 21 мВ, что в 11,9 раз меньше половины э.д.с., а в синфазном режиме значение Umax – 23 мВ, что в 10,86 раз меньше половины э.д.с. Устройство защиты обладает амплитудно-частотной характеристикой фильтра нижних частот (Баттерворта первого порядка) с частотой среза 66 МГц в обоих режимах. При этом габариты устройства составляют 50 х 36 х 9,4 мм, а длина проводников – 47 мм.

Работа выполнена при финансовой поддержке российского научного фонда (проект РНФ №20-19-00446) в ТУСУРе.

[1]. Mora, N. Study and classification of potential IEMI sources / N. Mora, F. Vega, G. Lugrin, F. Rachidi, M. Rubinstein // System and assessment notes. – № 41. – 8 July 2014. – 92 p.

[2]. Кечиев Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры / Л.Н. Кечиев. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 616 с.

Protection device for on-board electronic equipment against ultrashort pulse in differential and common modes

Kosteletskii V.P.
TUSUR, Tomsk, Russia

The development of on-board radio-electronic equipment for spacecraft places high requirements on reliability. For example, an in-orbit satellite can operate for more than 10 years and its electrical characteristics need only be varied within the range specified by the designers. It is important to protect certain elements of the spacecraft's electronics against ultrawideband intentional influences such as ultrashort pulses (USP) [1]. The amplitude of an arbitrary disturbance in a transmission line pair, which is the spacecraft power circuit, is described by a combination of common and differential components. Therefore, in order to provide protection against USP propagating through spacecraft power circuits, differential and common-mode protection should be implemented [2]. To improve reliability, spacecraft components are made from materials that are less susceptible to degradation in space conditions. To function as part of a spacecraft power distribution bus, a protection device has been developed, which is a strip structure on an aluminium oxide substrate. The use of ceramic material in its design has made it possible to reduce the size of the finished product as well as increasing its attenuation coefficient. The Agilent Technologies E5071C four-port vector network analyser was used for the frequency domain experiments. In order to obtain the results of the experiment in the time domain, a four-port device model defined by S-parameters is specified in the ADS software. The input of the frequency-detecting device model is then applied to the USP with an amplitude of EMF 500 mV and a duration of 300 ps at 0.5. The results shows that in differential mode, the maximum voltage at the protection device output (Umax) was 21 mV, which is 11.9 times less than half of the EMF., and in common mode, Umax was 23 mV, which is 10.86 times less than half of the EMF. The protection device has an amplitude-frequency response of a low-pass filter (first-order Butterworth) with a cut-off frequency of 66 MHz in both modes. The dimensions of the device are 50 x 36 x 9.4 mm and the conductors are 47 mm long.

The reaserch was funded by the Russian Science Foundation, project №20-19-00446 at TUSUR.

[1]. Mora, N. Study and classification of potential IEMI sources / N. Mora, F. Vega, G. Lugrin, F. Rachidi, M. Rubinstein // System and assessment notes. – № 41. – 8 July 2014. – 92 p.

[2]. Kechiev, L.N. Designing printed circuit boards for digital high-speed equipment / L.N. Kechiev. - Moscow: OOO Group IDT, 2007. - 616 p.

Исследование влияния нейросетевых структур на характеристики интегрированной навигационной системы

Кузнецов И.М., Веремеенко К.К., Жарков М.В., Пронькин А.Н.
МАИ, г. Москва, Россия

В докладе приводится исследование возможностей использования нейросетевых структур в задачах разработки алгоритмов комплексных навигационных систем. Обеспечение высокоточной навигационной информацией основных бортовых потребителей подвижных объектов зачастую связана с рядом проблем, возникающих при разработке новых и модернизации навигационных систем, находящихся в процессе эксплуатации. К таким проблемам можно отнести: увеличение размерностей моделей последних при учете возмущающих факторов, которые неизбежно появляются в сложных условиях эксплуатации, выдерживание соответствующего уровня устойчивости алгоритмов оценивания погрешностей навигационных систем при появлении высокого порядка моделей и их восприимчивость к внешним возмущающим факторам, влияющим на качество их функционирования. В докладе представлен подход к построению моделей комплексных навигационных систем, который использует возможности нейросетевых структур. Использование искусственных нейронных сетей (НС) подразумевает альтернативные традиционным [1] методы интеграции бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС) и глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Так, в работе [2] приводятся преимущества использования искусственных НС, среди которых отмечаются: адаптивность математической модели, отсутствие необходимости использования априорных данных о ее параметрах, отсутствие требований к линеаризации. Представленные преимущества, тем не менее, нереализуемы без соответствующим образом проведенного предварительного обучения, с целью организации структур, возможных к внедрению в существующие интегрированные навигационные системы. Такие нейронные структуры могут быть использованы как для аппроксимации модели погрешностей БИНС, для построения их полного алгоритма, так и включены в состав оптимального фильтра Калмана (ОФК). Такой подход нашёл применение в комплексных системах, включающих ГНСС и БИНС, выполненные на основе различного класса инерциальных датчиков [3]. Приведены структура, состав, основные математические соотношения и результаты имитационного моделирования комплексной навигационной системы, включающей нейросетевые структуры в рамках предлагаемого подхода.

1. I.M. Kuznetsov, K.K. Veremeenko, M.V. Zharkov, A.N. Pronkin Attitude sensors relative angular misalignment estimation in integrated navigation systems MATEC Web of Conferences 362 01015 (2022) DOI: 10.1051/matecconf/202236201015

2. E. Pukhov and H. I. Cohen, "Novel Approach to Improve Performance of Inertial Navigation System Via Neural Network," 2020 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), 2020, pp. 746-754, doi: 10.1109/PLANS46316.2020.9110180.

3. A. Noureldin, R. Sharaf, A. Osman and N. El-Sheimy, "INS/GPS data fusion technique utilizing radial basis functions neural networks," PLANS 2004. Position Location and Navigation Symposium (IEEE Cat. No.04CH37556), 2004, pp. 280-284, doi: 10.1109/PLANS.2004.1309006.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер темы FSFF-2020-0015.

The influence of neural network structures on the integrated navigation system performance investigation

Kuznetsov I.M., Veremeenko K.K., Zharkov M.V., Pronkin A.N.
MAI, Moscow, Russia

The report provides a study of the possibilities of using neural network structures in the tasks of developing algorithms for integrated navigation systems. Providing high-precision navigation

information to the mobile objects main on-board consumers is often associated with a number of problems that arise during the development of new and modernization of navigation systems in operation. Such problems include: the system model dimensions increasing, taking into account disturbing factors that unavoidably appear in difficult operating conditions, maintaining an appropriate level of navigation systems estimating errors algorithms stability when high-order models appear and their susceptibility to external disturbing factors affecting the quality of their functioning. The report presents an approach of integrated navigation systems models design that uses the capabilities of neural network structures. The use of artificial neural networks (ANS) implies alternative to traditional [1] methods of strapdown inertial navigation systems (SINS) and global navigation satellite systems (GNSS) integration. Thus, the paper [2] presents the advantages of using ANS, among which are noted: adaptability of the mathematical model, the use its parameters a priori data necessity absence, the absence of requirements for linearization. The advantages presented, however, are unrealizable without properly organized preliminary training, in order to build structures that can be implemented into existing integrated navigation systems. Such neural structures can be used both to approximate the SINS error model, to design its complete algorithm, and are included in the optimal Kalman filter (OKF). This approach has found application in complex systems, including GNSS and SINS, made on the basis of inertial sensors of different class [3]. The structure, contents, basic mathematical equations and results of complex navigation system including neural network structures simulation within the proposed approach are presented.

1. I.M. Kuznetsov, K.K. Veremeenko, M.V. Zharkov, A.N. Pronkin Attitude sensors relative angular misalignment estimation in integrated navigation systems MATEC Web of Conferences 362 01015 (2022) DOI: 10.1051/matecconf/202236201015

2. E. Pukhov and H. I. Cohen, "Novel Approach to Improve Performance of Inertial Navigation System Via Neural Network," 2020 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), 2020, pp. 746-754, doi: 10.1109/PLANS46316.2020.9110180.

3. A. Noureldin, R. Sharaf, A. Osman and N. El-Sheimy, "INS/GPS data fusion technique utilizing radial basis functions neural networks," PLANS 2004. Position Location and Navigation Symposium (IEEE Cat. No.04CH37556), 2004, pp. 280-284, doi: 10.1109/PLANS.2004.1309006.

The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. FSFF-2020-0015).

Метод автоматического преобразования видео материалов конференций в гипертекстовые документы

[1]Максимов А.Н., [2]Ботнарь О.А., [3]Маласай Е.А.

[1]МАИ, [2]МПУ, [3]ООО ЦПР РТСофт, г. Москва, Россия

В настоящее время большое количество научных материалов, материалов конференций и учебных материалов публикуются в виде видео на youtube и аналогичных площадках. Видео публикации обладают рядом недостатком по сравнению с текстовыми публикациями:

• Ознакомление с видео занимает больше времени, чем чтение текста;

• Поиск необходимой информации внутри видео затруднен и менее эффективен, чем в тексте;

• Индексирование содержимого видео затруднено.

Перечисленные проблемы приводят к возникновению задачи автоматического преобразованию видео презентации в гипертекстовый формат более эффективный с точки зрения восприятия информации человеком и более пригодный с точки зрения работы поисковых алгоритмов. Особенно актуальна данная проблема для исследователей, которым необходимо максимально эффективно знакомиться с материалами новых научных исследований, а также для студентов и преподавателей высших учебных заведений.

В докладе рассматривается подход к созданию инструмента, который бы позволял автоматически извлекать из видео материалов презентаций конференций информацию в виде гипертекстового документа.

Данные гипертекстовые материалы могут быть использованы для офлайн изучения, в качестве справочных данных или быстрого ознакомления. Кроме того, возможно

использовать разработанный подход для автоматического формирования конспектов из материала, который преподаватель пишет на доске во време лекций. Это позволит повысить эффективность обучения за счет предоставления студентам возможности использовать результаты работы разработанного инструмента для получения пригодного для поиска нужной информации конспекта лекций.

Для решения задачи формирования гипертекстового документа из видео презентации предлагается решить следующие подзадачи:

- Выделение слайдов презентации из видео.
- Распознавание аудио и преобразование в текст.
- Разбивка на предложения и расстановка пунктуаций.
- Упорядочивание слайдов и иллюстраций.
- Формирование согласованного человеко-читаемого гипертектстовго документа.
- Формирование абстракта и оглавления документа.

Существующие решения с открытым исходным кодом в большинстве случаев реализуют только первую задачу выделения слайдов, устранения дубликатов и формирования pdf документа.

В докладе рассматриваются подходы к построению алгоритмов обработки, производится анализ возможных вариантов решения задач детектирования и распознавания слайдов, а также преобразования голоса докладчика в текст.

Предложенный авторами подход предполагает решение всех вышеперечисленных подзадач путем построения цепочки нейросетевых алгоритмов и алгоритмов обработки изображений. В докладе рассматриваются результаты практической реализации алгоритма преобразования видео презентаций в pdf и возможные направления доработок.

1. Martin Merkt, Sonja Weigand, Anke Heier, Stephan Schwan Learning with videos vs. learning with print: The role of interactive features. [Электронный ресурс]. – URL: [https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.477.3414&rep=rep1&type=pdf] (Дата обращения 19.10.2022).

2. Shadiev, R., Hwang, W.-Y., Chen, N.-S., & Huang, Y.-M. (2014). Review of Speech-to-Text Recognition Technology for Enhancing Learning. Educational Technology & Society, 17 (4), 65–84.

Method of automatic conversion of video conference materials into hypertext documents

[1]Maximov A.N., [2]Botnar O.A., [3]Malasay E.A.

[1]MAI, [2]MPU, Moscow, [3]RTSoft SDC, Moscow, Russia

Currently, a large number of scientific materials, conference materials and educational materials are published in the form of videos on youtube and similar sites. Video publications have a number of disadvantages compared to text publications:

- Familiarization with the video takes more time than reading the text;
- Finding the necessary information inside the video is difficult and less effective than in the text;
- Indexing the video content is difficult.

These problems lead to the emergence of the task of automatically converting a video presentation into a hypertext format that is more effective in terms of human perception of information and more suitable in terms of the operation of search algorithms. This problem is especially relevant for researchers who need to get acquainted with the materials of new scientific research as efficiently as possible, as well as for students and teachers of higher educational institutions.

The report discusses an approach to creating a tool that would allow you to automatically extract information from video materials of conference presentations and didactic materials and form hypertext materials suitable for quick acquaintance on the basis of this information.

These hypertext materials can be used for offline study, as reference data or for quick reference. In addition, it is possible to use the developed approach to automatically generate notes from the material that the teacher writes on the blackboard. This will increase the effectiveness of teaching by providing students with the opportunity to use the results of the developed tool to obtain a lecture summary suitable for finding the necessary information.

To solve the problem of forming a hypertext document from a video presentation, it is proposed to solve the following subtasks:

- Selection of presentation slides from videos.
- Audio recognition and text conversion
- Breakdown into sentences and punctuation.
- Arranging slides and illustrations.
- Formation of a coordinated human-readable hypertext document.
- Formation of the abstract and the table of contents of the document.

Existing open source solutions in most cases implement only the first task of highlighting slides, eliminating duplicates and generating a pdf document.

The report discusses approaches to the construction of processing algorithms, analyzes possible solutions to the problems of detecting and recognizing slides, as well as converting the speaker's voice into text.

The approach proposed by the authors involves solving all of the above subtasks by building a chain of neural network algorithms and image processing algorithms. The report discusses the results of the practical implementation of the algorithm for converting video presentations to pdf and possible directions of improvements.

1. Martin Merkt, Sonja Weigand, Anke Heier, Stephan Schwan Learning with videos vs. learning with print: The role of interactive features. [Электронный ресурс]. – URL: [https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.477.3414&rep=rep1&type=pdf] (Date of application 19.10.2022).

2. Shadiev, R., Hwang, W.-Y., Chen, N.-S., & Huang, Y.-M. (2014). Review of Speech-to-Text Recognition Technology for Enhancing Learning. Educational Technology & Society, 17 (4), 65–84.

Разработка шкалы радиопрозрачности для обработки данных компьютерной томографии в рамках рентгеновского контроля печатных плат

Минасян В.Б., Кадочников А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время, в связи с постоянным усложнением электроники, всё острее встает вопрос надежности, т.к. уплотнение компонентов и усложнение техпроцесса производства повышают требования к качеству изготовления. В связи с этим рентгеновский контроль становится всё более актуальным. Существует проблема обнаружения некоторых видов дефектов, которые могут быть видны только при определенных углах наблюдения, а также участков плат, находящихся в тени радиаторов.

Среди различных методов рентгеновского контроля следует выделить метод компьютерной томографии, как позволяющий получить томограмму – трехмерное воксельное изображение, содержащее подробную внутреннюю структуру объекта. При этом получаемые значения яркости отображают радиопрозрачность в каждой конкретной точке, что позволяет определять наличие различного рода дефектов.

Однако, несмотря на широкое распространение в медицине, применение метода компьютерной томографии для технических объектов затруднено, а в рамках задачи поиска дефектов печатных плат занимает значительно больше времени чем остальные виды рентгеновского контроля. Помимо этого, если в медицинском оборудовании применяется шкала единиц Хаунсфилда, то для использования с рентгеновским оборудованием технического назначения она не подходит ввиду использования параметров рентгеновской трубки, при которых использование данной шкалы невозможно. Помимо этого, следует отметить необходимость выбора параметров съемки, таких как напряжение и мощность рентгеновской трубки.

Для решения этой проблемы разработана новая шкала и методика пересчета значений между шкалами. Данная шкала позволит упростить анализ данных, сделанных при различных параметрах съемки и позволит упростить определение материалов, встречающихся на печатных платах, что в свою очередь позволит более точно определять различного рода дефекты.

Данную шкалу возможно использовать для сопоставления томограмм полученных при разных условиях и различных установках, а также при моделировании метода компьютерной томографии для определения оптимальных параметров съемки.

Помимо этого, была разработана методика и алгоритм оценки пористости материала, что позволит упростить процесс обработки получаемых данных. В дальнейшем будет разработана методика и алгоритмическое решение для сопоставления томограмм с различной разрешающей способностью.

Литература:

1. Минасян В.Б. «Проблемы анализа топологии печатных плат» // Гагаринские чтения - 2019. Сборник тезисов докладов XLV Международной молодежной научной конференции. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). 2019. С. 285-286.

2. Минасян В.Б. «Методы автоматизации рентгеновской инспекции печатных плат» // Гагаринские чтения - 2020. Сборник тезисов докладов. 2020. С. 361.

3. Минасян В.Б., Баранов В.Ю. «Проблемы использования компьютерной томографии и способы их решения для задачи контроля печатных узлов» // 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика»; ноябрь 2020г., Москва. Тезисы.

4. Минасян В.Б., Кадочников А.А. «Проблемы обработки изображений компьютерной томографии печатных плат» Гагаринские чтения – 2021: XLVII Международная молодёжная научная конференция: Сборник тезисов докладов. М.; 2021.

5. Минасян В.Б., Кадочников А.А., Малых Е.А. «Проблемы автоматизации обработки данных компьютерной томографии и способы их решения для задачи контроля печатных узлов» // 20-я Международная конференция «Авиация и космонавтика»; ноябрь 2021г., Москва. Тезисы.

Development of a radio transparency scale for processing computed tomography data for X-ray inspection of PCB

Minasyan V.B., Kadochnikov A.A.
MAI, Moscow, Russia

Among the various methods of X-ray control, one should single out the method of computed tomography, as it allows obtaining a tomogram – a three-dimensional voxel image containing a detailed internal structure of an object. In this case, the obtained brightness values reflect the radio transparency at each specific point, which makes it possible to determine the presence of various kinds of defects.

However, despite its widespread use in medicine, the use of computed tomography for technical objects is difficult, and within the framework of the task of finding defects in printed circuit boards, it takes much more time than other types of x-ray control. In addition, if the Hounsfield unit scale is used in medical equipment, then it is not suitable for use with technical X-ray equipment due to the use of X-ray tube parameters, in which the use of this scale is impossible. In addition, it should be noted the need to select shooting parameters, such as the voltage and power of the X-ray tube.

To solve this problem, a new scale and a method for recalculating values between scales have been developed. This scale will simplify the analysis of data taken at various shooting parameters and will simplify the determination of materials found on printed circuit boards, which in turn will allow more accurate determination of various types of defects.

This scale can be used to compare tomograms obtained under different conditions and different settings, as well as when modeling the method of computed tomography to determine the optimal imaging parameters.

In addition, a technique and algorithm for estimating the porosity of the material was developed, which will simplify the process of processing the data obtained. In the future, a technique and an algorithmic solution will be developed for comparing tomograms with different resolutions.

Разработка системы автоматизации классификации научных текстов на основе нейронной сети

Мироненко А.В., Виноградов И.В.
МАИ, г. Москва, Россия

В современном мире количество научных текстов быстро растет. Исследование компании IDC «Аналитика Больших данных как инструмент бизнес-инноваций», проведенное в 2019 году, установило, что на данный момент проанализировано менее 1% всей имеющейся информации в сети интернет, а также сделало вывод, что рост объема данных будет только продолжаться, а неструктурированная информация, сформированная из различных источников, становится все более актуальной.

Для упрощения нахождения научных текстов их необходимо классифицировать. Одним из таких классификаторов является код ГРНТИ. Он является универсальной классификационной системой, принятой в России и странах СНГ. Создан Межведомственной комиссией по классификации.

В данной работе рассматривается обучение нейронной сети на тезисах с конференции «Авиация и космонавтика» по коду ГРНТИ.

Для работы была выгружена база данных тезисов из системы «Лаборатория конференций», разработанной в МАИ, на основе которой было проведено обучение и тестирование нейронной сети.

Нейронные сети предоставляют технологическую базу для организации процесса классификации текстов.

Для того, чтобы подготовить текст к работе с нейронной сетью необходимо выполнить несколько процедур – привести текст к форме, которая пригодна для подачи на вход нейронной сети.

Первая из этих процедур, это токенизация – разбиение текста на токены (в нашем случае – это слова).

Второй пункт – нормализация токенов, то есть приведение всех форм слова в единую форму.

Для сокращения использования ресурсов компьютера далее производится выбор самых часто встречаемых слов, а также удаление стоп-слов, которые могут встречаться во всех текстах и не несут дополнительного смысла. Весь текст, который должен быть подан на вход нейронной сети должен быть представлен в качестве векторов слов. Вектор слов подается на вход нейронной сети, затем производится обучение с учителем.

При использовании нейронной сети на вход подается вектор нормализованных слов, состоящий из списка слов, которые чаще всего встречались при обучении. На выходе получается категория (код ГРНТИ), к которой возможно принадлежит текст.

Для создания системы использовался язык программирования Python, для обучения нейронной сети использовалась библиотека Keras.

Значимость создания системы классификации научных текстов заключается в упрощении поиска научно-технической информации.

Литература:

1. Jacovi A., Shalom O.S., Goldberg Y. Understanding convolutional neural networks for text classification //arXiv preprint arXiv:1809.08037. – 2018. Дата обращения: 10.10.2022.

2. Попова Е.С., Спицын В.Г., Иванова Ю.А. Использование искусственных нейронных сетей для решения задачи классификации текста //Труды международной конференции по компьютерной графики и зрению "Графикон",-С. – 2019. – С. 270-273. Дата обращения: 18.10.2022.

3. Кейно П.П., Новиков А.Ю., Хорошко Л.Л. Разработка архитектуры интернет-сервиса организации научных мероприятий с автоматизацией документооборота. – Litres, 2022.

Design of a system for automating the classification of scientific texts based on a neural network

Mironenko A.V., Vinogradov I.V.
MAI, Moscow, Russia

In the modern world, the number of scientific texts is growing rapidly. A 2019 IDC study "Big Data Analytics as a Tool for Business Innovation" found that less than 1% of all available information on the Internet has been analyzed so far, and also concluded that data growth will only continue, and unstructured information generated from various sources is becoming more and more relevant.

To simplify finding scientific texts, they must be classified. One of these classifiers is the GRNTI code. It is a universal classification system adopted in Russia and the CIS countries. Created by the Interdepartmental Commission on Classification.

In this paper, we consider the training of a neural network on the abstracts from the Aviation and Cosmonautics conference using the GRNTI code.

For the work, a database of abstracts was unloaded from the "Laboratory of Conferences" system developed at the Moscow Aviation Institute, on the basis of which the training and testing of the neural network was carried out.

Neural networks provide a technological basis for organizing the text classification process.

In order to prepare the text for working with a neural network, it is necessary to perform several procedures – to bring the text to a form that is suitable for feeding the input of the neural network.

The first of these procedures is tokenization – splitting the text into tokens (in our case, these are words).

The second point is the normalization of tokens, that is, bringing all forms of the word into a single form.

To reduce the use of computer resources, the most frequently occurring words are selected, as well as the removal of stop words that can occur in all texts and do not carry additional meaning. All text that should be fed to the input of the neural network should be presented as word vectors. The vector of words is fed to the input of the neural network, and then training is performed with a teacher.

When using a neural network, the input is a vector of normalized words, consisting of a list of words that were most often encountered during training. The output is a category (GRNTI code) to which the text may belong.

The Python programming language was used to create the system, and the Keras library was used to train the neural network.

The importance of creating a classification system for scientific texts is to simplify the search for scientific and technical information.

References:

1. Jacovi A., Shalom O.S., Goldberg Y. Understanding convolutional neural networks for text classification //arXiv preprint arXiv:1809.08037. – 2018. Date of access: 10.10.2022

2. Popova E.S., Spitsyn V.G., Ivanova Yu.A. The use of artificial neural networks for solving the problem of text classification // Proceedings of the international conference on computer graphics and vision "Grafikon", -S. - 2019. - S. 270-273. Date of access: 10/18/2022

3. Keino P.P., Novikov A.Yu., Khoroshko L.L. Development of the architecture of an Internet service for organizing scientific events with document management automation. – Literes, 2022.

Использование баз данных при разработке технологического оборудования

Мишин Н.С., Фролов В.А., Ягопольский А.Г.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Производство технологического оборудования – это одна из основных отраслей современного машиностроения, включающая в себя множество актуальных конструкторских и технологических задач. В настоящее время эта отрасль отличается постоянным ростом разнообразия производимых станков в различных сферах промышленности, увеличением типоразмеров производимых машин, повышением производительности на производстве и пр. Для выполнения поставленных задач необходимо расширение баз данных конструкторских и

технологических решений по разработке технологического оборудования, основанных на современных Web-технологиях и интернет-сервисах.

В качестве решения поставленных задач может использоваться модульный принцип создания технологического оборудования. Это позволяет изменять существующее оборудование при условии, если оно состоит из унифицированных узлов (модулей). Соответственно новые модификации полученных конструкций будут соответствовать заявленным потребностям заказчика, что позволит в кратчайший срок получить необходимый результат. При этом снижается себестоимость получаемой продукции, поскольку не закупается новое оборудование под узкие конкретные требования заказчика, а компонуется в новые модификации уже существующего оборудования, и как следствие, упрощаются условия эксплуатации, повышается ремонтопригодность, поскольку отпадает потребность в любых специализированных деталях и узлах.

Соответственно, для оперативного выполнения конструкторских задач необходимо основываясь на модульном принципе, предложить актуальные базы данных унифицированных модульных узлов технологического оборудования, организовать систему доступа любому пользователю к удаленному серверу с помощью специализированных Web-утилит. Таким образом, при использовании универсальной базы данных модулей станков, выбор проектируемой конструкции становится быстро решаемой задачей, позволяя, таким образом, в короткие сроки отыскать оптимальное компоновочное решение.

Литература:

1. Тимофеев П.Г., Ягопольский А.Г. Роль и значение PDM-систем при разработке технологического оборудования. Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2016. № 10 (679). С. 73-81.

2. Утенков В.М., Чернянский П.М., Борисов С.Н., Васильев Г.Н., Вереина Л.И., Иванов В.С., Иванов, Д.В., Москвин В.К., Николаева Н.С., Никулин Ю.В., Скиба В.М., Ягопольский А.Г. Проектирование автоматизированных станков и комплексов. том 1 (2-е издание), Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (Москва), 2014.

3. Ягопольский А.Г., Волохов В.А., Перспективные методы испытания металлорежущих станков. Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2006. № 4. С. 44-47.

The use of databases in the development of technological equipment

Mishin N.S., Frolov V.A., Yagopolsky A.G.

BMSTU, Moscow, Russia

The production of technological equipment is one of the main branches of modern mechanical engineering, which includes many relevant design and technological tasks. At present, this industry is characterized by a constant growth in the variety of machine tools manufactured in various industries, an increase in the size of manufactured machines, an increase in productivity in production, etc. To fulfill the tasks, it is necessary to expand the databases of design and technological solutions for the development of technological equipment based on modern Web- technologies and internet services.

As a solution to the tasks set, a modular principle of creating technological equipment can be used. This allows you to change existing equipment, provided that it consists of unified nodes (modules). Accordingly, new modifications of the obtained structures will correspond to the stated needs of the customer, which will allow obtaining the required result in the shortest possible time. At the same time, the cost of the resulting products is reduced, since new equipment is not purchased for the narrow specific requirements of the customer, but is assembled into new modifications of existing equipment, and as a result, operating conditions are simplified, maintainability is increased, since there is no need for any specialized parts and assemblies.

Accordingly, for the rapid execution of design tasks, it is necessary, based on the modular principle, to offer up-to-date databases of unified modular units of technological equipment, to organize a system for access to a remote server by any user using specialized Web-utilities. Thus, when using a universal database of machine modules, the choice of the design being designed becomes a quickly solved task, thus making it possible to find the optimal layout solution in a short time.

References:
1. Timofeev P.G., Yagopolsky A.G. The role and importance of PDM-systems in the development of technological equipment. News of higher educational institutions. Engineering. 2016. No. 10 (679). pp. 73-81.
2. Utenkov V.M., Chernyansky P.M., Borisov S.N., Vasiliev G.N., Vereina L.I., Ivanov V.S., Ivanov D.V., Moskvin V.K. , Nikolaeva N.S., Nikulin Yu.V., Skiba V.M., Yagopolsky A.G. Design of automated machines and complexes. volume 1 (2nd edition), Moscow State Technical University. N.E. Bauman (Moscow), 2014.
3. Yagopolsky A.G., Volokhov V.A., Perspective methods for testing machine tools. News of higher educational institutions. Engineering. 2006. No. 4. S. 44-47.

Анализ влияния стабильности показаний инерциальных датчиков на точность выставки гироплатформы

Наумченко В.П., Илюшин П.А., Пикунов Д.Г., Соловьёв А.В.
НИИ ПМ, г. Москва, Россия

Этап начальной выставки инерциальных навигационных систем (ИНС) является неотъемлемой частью предстартовой подготовки подвижных объектов различного класса и точности, поскольку алгоритмы работы ИНС описываются системой дифференциальных уравнений, для решения которых необходимо знать начальные условия, определяемые в процессе начальной выставки.

Точность начальной выставки ИНС платформенного типа преимущественно определяется инструментальными погрешностями гироскопов и акселерометров, а также чувствительностью канала стабилизации платформы. Наличие инструментальных погрешностей гироскопов приводит к накоплению общей ошибки выставки за счет добавления к ней ошибок канала стабилизации. Особый интерес представляют стохастические процессы (шумы) в выходной информации, которые будут приводить к случайным колебаниям платформы в окрестности равновесия и добавкам к сигналам управления разворота платформы. Поэтому целью настоящей работы является оценка влияния шумов инерциальных датчиков на точность и характер начальной выставки инерциальных систем платформенного типа.

Построение алгоритма начальной выставки осуществляется на основе нового подхода, базирующегося на применении методов многофакторной оптимизации [1, 2].

Традиционно, в рамках имитационного моделирования или упрощенного рассмотрения системы, шум инерциальных приборов считается нормально-распределенным, несмещенным и белым. Однако, это не совсем верно, поскольку в выходных сигналах помимо белого шума (случайное блуждание угла для гироскопов или случайное блуждание скорости для акселерометра) присутствуют шумы квантования, фликкер-шумы и другие [3].

Литература:

1. Наумченко В.П., Илюшин П.А., Пикунов Д.Г. Способ определения начальных углов ориентации инерциальных измерительных блоков // Сборник трудов XXIV конференции молодых ученых «Навигация и управление движением» (XXIV КМУ 2022), 2022.
2. Наумченко В.П., Илюшин П.А., Пикунов Д.Г., Соловьёв А.В. «Оптимизация процесса начальной выставки инерциальных навигационных систем» // Сборник трудов по итогам XIV Общероссийской научно-технической конференции «Молодежь. Техника. Космос», 2022.
3. Литвин М.А., Малюгина А.А., Миллер А.Б. и др. Типы ошибок в инерциальных навигационных системах и методы их аппроксимации // Информационные процессы. 2014. Том.14. №4. С. 326-339.

Inertial sensors readings stability analysis onto accuracy of the gyroscopic platform initial exhibition

Naumchenko V.P., Ilyushin P.A., Pikunov D.G., Solovyev A.V.
Research Institute of applied mechanics, Moscow, Russia

accuracy, since the algorithms of the INS are described by a system of differential equations, for the solution of which it is necessary to know the initial conditions determined during the initial exhibition.

The accuracy of the initial exhibition gimbal INS is mainly determined by the instrumental errors of gyroscopes and accelerometer, as well as sensitivity of the platform stabilization channel. The presence of instrumental errors of gyroscopes leads to the total exhibition error accumulation due to the addition stabilization channel errors to it. The specific interest are stochastic processes (noises) in the output information, which will lead to random fluctuations of the platform in the balance area and additions to the platform reversal control signals. Therefore, the purpose of this work is to assess the effect of inertial sensor noise on the accuracy and nature of the initial exhibition of gimbal INS.

The construction of the initial exhibition algorithm is carried out on the basis of a new approach based on the use of multifactor optimization methods [1, 2].

Traditionally, in the limits of simulation modeling or simplified consideration of the system, the noise of inertial devices is considered normally distributed, unbiased and white. However, this is not entirely true, since in addition to white noise (random angle walk for gyroscopes or random speed walk for accelerometers), quantization noises, flicker noises and others are present in the output signals [3].

References:

1. Naumchenko V.P., Ilyushin P.A., Pikunov D.G. A method for determining the initial orientation angles of inertial measuring units // Proceedings of the XXIV Conference of Young scientists "Navigation and motion control" (XXIV CMU 2022), 2022.

2. Naumchenko V.P., Ilyushin P.A., Pikunov D.G., Soloviev A.V. "Optimization of the process of the initial exhibition of inertial navigation systems" // Collection of works on the results of the XIV All-Russian Scientific and Technical Conference "Youth. Technic. Cosmos", 2022.

3. Litvin M.A., Malyugina A.A., Miller A.B. and others. Error Classification and Approximation in Inertial Navigational Systems // Information processes. 2014. Volume.14. No. 4. pp. 326-339.

Создание методики оценки системы управления скоростью вращения ротора двигателя-маховика для эффективного управления высокодинамичными космическими аппаратами

Некрасов В.В.
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва, Россия

Для устранения отсутствия отечественных эффективных решений по управлению угловыми маневрами высокодинамичных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли проведено настоящее исследование [1]. Одним из результатов исследования для организации эффективного управления высокодинамичными космическими аппаратами стало создание методики оценки структурных характеристик системы управления скоростью вращения ротора электромеханического блока двигателя-маховика (исполнительного органа системы ориентации и стабилизации космического аппарата).

Методика оценки включила в себя:

1) выбор структуры комплекса технических средств системы управления скоростью вращения ротора электромеханического блока двигателя-маховика для высокодинамичных космических аппаратов;

2) определение решаемых задач из оценки структурных характеристик элемента бортовой цифровой вычислительной машины;

3) определение решаемой задачи из оценки структурных характеристик элемента мультиплексного канала обмена;

4) определение решаемых задач из оценки структурных характеристик элемента электромеханического блока двигателя-маховика;

5) определение решаемых задач из оценки структурных характеристик элемента микроконтроллерной системы автоматического управления двигателя-маховика;

6) предложение интегрального весового показателя эффективного управления основанного на концепции создания управляющего момента двигателем-маховиком, как исполнительным органом системы ориентации и стабилизации для высокодинамичных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли.

Отличительной особенностью методики с одной стороны является наличие интегральной оценки наиболее значимых характеристик управления электромеханического блока двигателя-маховика, а с другой стороны, – возможность раздельной оптимизации характеристик управления, что позволяет свести многокритериальную задачу проектирования к однокритериальным и тем самым сократить время проектирования. Определенные с помощью методики оценки технические характеристики и требования управления позволяют создать унифицированную микроконтроллерную систему автоматического управления скоростью вращения ротора электромеханического блока двигателя-маховика для высокодинамичных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли, как в аппаратной, так и в программной составляющих. Это обеспечивает, при проектировании нового двигателя-маховика с микроконтроллерной системой управления и высокоточной обратной связью по скорости вращения ротора, выигрыш в виде сокращения времени порядка на 30%.

Литература:

1. Некрасов В. В. Микроконтроллерная система управления двигателя-маховика для высокодинамичных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли / В. В. Некрасов // Системный анализ, управление и навигация: тезисы докладов XXV Международной научной конференции (г. Евпатория, Крым, 4–11 июля 2021 г.). – Москва: Изд-во МАИ, 2021. – С. 158–159. – ISBN 978-5-4465-3279-7.

Creation of a methodic for evaluating the control system of the rotation speed of the rotor of the flywheel engine for effective control of highly dynamic satellites

Nekrasov V.V.

VNIIEM Corporation, Moscow, Russia

To eliminate the lack of domestic effective solutions for controlling angular maneuvers of highly dynamic satellites for remote sensing of the Earth, this study was conducted [1]. One of the re-sults of the study for the organization of effective control of highly dynamic satellites was the creation of a methodic for assessing the structural characteristics of the rotor speed control system of the electromechanical unit of the engine-flywheel (the executive body of the satellites orientation and stabilization system).

The assessment methodic include:

1) the choice of the structure of the complex of technical means of the rotor speed control system of the electromechanical unit of the engine-flywheel for highly dynamic satellites;

2) determination of the tasks to be solved from an assessment of the structural characteristics of an element of an on-board digital computer;

3) determination of the task to be solved from the evaluation of the structural characteristics of the element of the multi-plex exchange channel;

4) determination of the tasks to be solved from the evaluation of the structural characteristics of the element of the electromechanical unit of the engine-flywheel;

5) determination of the tasks to be solved from the evaluation of the structural characteristics of the element of the microcontroller automatic control system;

6) the proposal of an integral weight indicator of effective control based on the concept of creating a control moment by a flywheel engine as the executive body of the orientation and stabilization system for highly dynamic satellites for remote sensing of the Earth.

A distinctive feature of the methodic, on the one hand, is the presence of an integral assess-ment of the most significant characteristics control of the electromechanical unit of the engine-flywheel, and on the other hand, the possibility of separate optimization of control characteristics, which allows

reducing the multi-criteria design task to the singles–criteria tasks and thereby reducing the design time. The technical characteristics and control requirements determined us-ing the evaluation methodic make it possible to create a unified microcontroller system for auto-matic control of the rotation speed of the rotor of the electromechanical unit of the engine-flywheel for highly dynamic satellites for remote sensing of the Earth, both in hardware and software components. This provides, when designing a new engine-flywheel with a microcon-troller control system and high-precision feedback on the speed of rotation of the rotor, a gain in the form of a reduction in time by about 30%.

References:

1. Nekrasov V. V. Microcontroller control system of the engine-flywheel for highly dynamic satellites remote sensing of the Earth / V. V. Nekrasov // System analysis, control and navigation: abstracts of the XXV International Scientific Conference (Evpatoria, Crimea, July 4-11, 2021). – Moscow: Publishing House of MAI, 2021. – PP. 158-159. – ISBN 978-5-4465-3279-7.

Разработка архитектуры сети типовых сайтов мероприятий с внедрением в экосистему «Лаборатория конференций»

Новиков А.Ю., Кейно П.П.
МАИ, г. Москва, Россия

Организация приёма и обработки заявок на мероприятия в виде web-сервиса уже стала де-факто стандартом, поскольку упрощает работу как авторов, так и организаторов. Разрабатываемый авторами проект, получивший название «Лаборатория конференций», внедрен во многие конференции, в том числе и «Авиация и космонавтика». Многие мероприятия обладают периодичностью и могут проводиться, например, раз в год. Поэтому важной задачей является легкое интуитивно понятное создание нового проекта, наполнение его контентом и поддержание в актуальном состоянии. Для решения данной задачи применяется интеграция системы управления контентом (CMS), а именно WordPress. Это одно из распространённых решений для управления web-ресурсом небольших проектов, часто предоставляемое хостинг-сервисами и наиболее подходящее для интеграции с проектом авторов.

Для корректной обработки пользовательского запроса, необходимо разделять виды получаемых данных: статические файлы публичных страниц конференции, личный кабинет управления мероприятием, личный кабинет системы управления контентом.

Рассматривая типовой Web-сайт мероприятия можно выделить набор основных свойств и элементов: логотип, цветовая схема, фоновые картинки. Создав набор пользовательских шаблонов можно упростить создание нового проекта ежегодной конференции, использовав настроенную конфигурацию. Однако динамические данные (такие как даты проведения), необходимы для вывода находятся в базе данных основного личного кабинета. Соответственно требуется пробросить их на страницы WordPress.

Для маршрутизации запросов применяется классическая связка Web серверов: Apache и Nginx. На уровне Nginx выполняется работа со статическими файлами и проксирование запросов к серверу Apache. Для того, чтобы отличить запрос к панели CMS WopdPress, от запроса к панели управления заявками мероприятия, запросы распределены на разные виртуальные хосты.

Механизм развёртывания нового проекта объединяется с вызовом набора методов CMS, реализующих создание нового Web-ресурса внутри существующей сети. Одним из преимуществ WordPress является поддержка режима «Multisite», при котором создается единственный экземпляр системы управления сетью сайтов, совместно использующих единую базу данных.

Благодаря интеграции CMS, конечный пользователь получает привычный интерфейс редактора страниц, а также возможность создавать новые типовые проекты конференций. Таким образом, процесс редактирования контента web-ресурсов мероприятий становится более доступным и централизованным.

Development of the architecture of the network of typical event sites with implementation in the ConfLab ecosystem

Novikov A.Y., Keyno P.P.
MAI, Moscow, Russia

The organization of receiving and processing applications for events in the form of a web service has already become a de facto standard, since it simplifies the work of both authors and organizers. The project developed by the authors, called the "Conference Laboratory", has been implemented in many conferences, including "Aviation and Cosmonautics". Many events are periodic and can be held, for example, once a year. Therefore, an important task is the easy and intuitive creation of a new project, filling it with content and keeping it up to date. To solve this problem, the integration of a content management system (CMS), namely WordPress, is used. This is one of the common solutions for managing the web resource of small projects, often provided by hosting services and most suitable for integration with the authors' project.

For correct processing of a user request, it is necessary to separate the types of data received: static files of the conference public pages, a personal account for managing an event, a personal account for a content management system.

Considering a typical event Web site, we can distinguish a set of basic properties and elements: logo, color scheme, background pictures. By creating a set of custom templates, you can easily create a new annual conference project by using a customized configuration. However, the dynamic data (such as the date of the event) required for the withdrawal is located in the database of the main personal account. Accordingly, you need to forward them to WordPress pages.

For routing requests, a classic bundle of Web servers is used: Apache and Nginx. At the Nginx level, work with static files and proxy requests to the Apache server are performed. In order to distinguish a request to the WopdPress CMS panel from a request to the event ticket control panel, requests are distributed to different virtual hosts.

The mechanism for deploying a new project is combined with calling a set of CMS methods that implement the creation of a new Web resource within an existing network. One of the benefits of WordPress is its support for "Multisite" mode, which creates a single instance of a management system for a network of sites that share a single database.

Thanks to CMS integration, the end user gets a familiar page editor interface, as well as the ability to create new standard conference projects. Thus, the process of editing the content of event web resources becomes more accessible and centralized.

Оптимизация и унификация схемотехнических и конструктивных решений литий-ионных аккумуляторных батарей для систем электроснабжения космических аппаратов

Носов Д.Ю.
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва, Россия

Развитие космической техники связано с использованием литий-ионных аккумуляторных батарей (АБ), имеющих существенно более высокие технико-эксплуатационные характеристики по сравнению с другими типами накопителей. В связи с большой номенклатурой околоземных космических аппаратов (КА), для построения их СЭС требуется широкий типоразмерный ряд АБ.

Многолетняя практика эксплуатации показала, что для построения АБ КА могут успешно использоваться как специализированные для применения в условиях космического пространства литий-ионные аккумуляторы (ЛИА), так и аккумуляторы, разработанные для индустриальных наземных применений.

В АО «Корпорация «ВНИИЭМ» разработана и успешно реализована концепция создания на базе индустриальных ЛИА типоразмера 18650 высокоэнергоемких отказоустойчивых радиационностойких АБ, не требующих использования электронных систем контроля и выравнивания напряжений. В ее основу положено использование инновационное схемотехническое построение и универсальная конструкция АБ, позволяющие на базе аккумуляторов одного типоразмера создавать широкие параметрические ряды конструктивно

унифицированных низковольтных (до 30 В) АБ энергоемкостью от 0,6 до 2,3 кВт·ч путем изменения только полярности установки и количества вертикальных и горизонтальных рядов ЛИА, а также геометрии токосборных шин и перемычек. При этом по своим удельным энергетическим характеристикам созданные АБ в 1,5 – 2 раза превышают лучшие зарубежные и российский аналоги.

Для создания более энергоемких (3 и более кВт·ч) и высоковольтных литий-ионных АБ перспективно блочно-модульное построение, позволяющее наращивать мощность и энергоемкость низковольтных АБ или формировать высоковольтные АБ путем соединения по параллельной, последовательной или параллельно-последовательной схеме из необходимого количества батарейных блоков, унифицированных для широкого спектра КА с точки зрения условий и режимов эксплуатации.

Optimization and unification of circuitry and design solutions for lithium-ion batteries for spacecraft power supply systems

Nosov D.Y.

VNIIEM Corporation, Moscow, Russia

The development of space technology is associated with the use of lithium-ion batteries (AB), which have significantly higher technical and operational characteristics compared to other types of storage devices. Due to the large range of near-Earth spacecraft (SC), the construction of their SES requires a wide range of AB.

Many years of operation, practice has shown that both lithium-ion batteries (LIA) specialized for use in outer space and batteries designed for industrial ground-based applications can be successfully used to build an AB KA.

VNIIEM Corporation JSC has developed and successfully implemented the concept of creating high-energy fault-tolerant radiation-resistant ABs based on industrial LIBs of size 18650 that do not require the use of electronic control systems and voltage equalization. It is based on the use of innovative circuit design and universal design of ABs, which allow, on the basis of batteries of the same size, to create wide parametric series of structurally unified low-voltage (up to 30 V) ABs with an energy intensity of 0.6 to 2.3 kWh by changing only the polarity of the installation and the number of vertical and horizontal rows of LIB, as well as the geometry of current-collecting busbars and jumpers. At the same time, in terms of their specific energy characteristics, the created ABs are 1.5–2 times higher than the best foreign and Russian counterparts.

To create more energy-intensive (3 or more kWh) and high-voltage lithium-ion batteries, a block-modular design is promising, which allows increasing the power and energy intensity of low-voltage batteries or forming high-voltage batteries by connecting in a parallel, series or parallel-series circuit from the required number of battery units unified for a wide range of spacecraft in terms of operating conditions and modes.

Разработка программного обеспечения оцифровки скоростных сигналов

Носов С.А., Кузнецов П.М.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

В настоящее время в авиационной промышленности существует острая потребность производства беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Для производства деталей БПЛА в основном используются легкие сплавы на основе алюминия, которые легко поддаются обработке на станках с ЧПУ. Для повышения производительности обработки деталей в настоящее время применяют высокоскоростную обработку, которая может обеспечить высокую производительность, однако, при этом резко взрастают погрешности обработки.

Рост погрешности вызывается снижением достоверности информации о скорости перемещения рабочего органа станка. Сигнал о скорости перемещения чаще всего формируется аналоговым тахогенератором. Отрицательной стороной тахогенератора является низкая надежность работы и низкая достоверность самого аналогового сигнала, используемого в качестве информационного сигнала.

Решением является замена аналогового тахогенератора на устройство формирующее скоростной сигнал сразу в виде цифровой информации. Информация о скорости формируется на основе информации о перемещении рабочего органа станка с помощью уже имеющегося датчика его положения.

Для решения этой задачи требуется разработка программного обеспечения, позволяющего вычислять скоростную составляющую из уже сформированного цифрового сигнала о текущем положении. В основе лежит принцип цифрового дифференцирования получаемого информационного сигнала о перемещении. При высоких скоростях перемещения рабочего органа станка удается получить достаточно достоверную информацию о скорости перемещения. Однако, такой подход не даёт требуемой достоверности при низких скоростях перемещения.

Решение заложено в изменении принципа дифференцирования – если в первом случае идет подсчет количества импульсов, отражающих величину перемещения за единицу времени, то во втором – осуществляется подсчет вспомогательных импульсов от стороннего генератора за период поступления двух соседних во времени импульсов информации о величине перемещения.

Разработанное программное обеспечение позволяет получать информацию о скорости движения рабочего органа станка во всем диапазоне скорости перемещения без использования аналогового тахогенератора.

Применение цифровой системы повышает надёжность обработки информации и понижает себестоимость системы.

Цифровая система может быть интегрирована в интернет вещей для осуществления контроля и получения информации с любого устройства подключённого к интернету.

Development of software for digitization of high-speed signals

Nosov S.A., Kuznetsov P.M.
BMSTU, Moscow, Russia

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR DIGITIZATION OF HIGH-SPEED SIGNALS

Currently, there is an urgent need for the production of unmanned aerial vehicles (UAVs) in the aviation industry. For the production of UAV parts, light alloys based on aluminum are mainly used, which can be easily processed on CNC machines. To improve the productivity of machining parts, high-speed machining is currently used, which can provide high productivity, however, processing errors increase sharply.

The increase in error is caused by a decrease in the reliability of information about the speed of movement of the working body of the machine. The signal about the speed of movement is most often formed by an analog tachogenerator. The negative side of the tachogenerator is the low reliability of operation and the low reliability of the analog signal itself used as an information signal.

The solution is to replace the analog tachogenerator with a device that generates a high-speed signal immediately in the form of digital information. Information about the speed is formed on the basis of information about the movement of the working body of the machine with the help of an existing sensor of its position.

To solve this problem, it is necessary to develop software that allows calculating the speed component from the already generated digital signal about the current position. It is based on the principle of digital differentiation of the received information signal about the movement. At high speeds of movement of the working body of the machine, it is possible to obtain sufficiently reliable information about the speed of movement. However, this approach does not provide the required reliability at low travel speeds.

The solution lies in changing the principle of differentiation - if in the first case the number of pulses is counted, reflecting the amount of movement per unit of time, then in the second case, auxiliary pulses from a third-party generator are counted for the period of receipt of two pulses of information about the amount of movement adjacent in time.

The developed software allows obtaining information about the speed of movement of the working body of the machine in the entire range of travel speed without using an analog tachogenerator.

The use of a digital system increases the reliability of information processing and reduces the cost of the system.

The digital system can be integrated into the Internet of things to control and receive information from any device connected to the Internet.

Исследование вибрационных воздействий на ВТСП-катушки

Омельченко А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Высокотемпературная сверхпроводимость была обнаружена более 25 лет назад [1]. Эффект высокотемпературной сверхпроводимости, не смотря на отсутствие достаточного теоретического обоснования его возникновения и существования, уже достаточно широко используется в повседневной практике. Компания СуперОкс была основана с целью разработки эффективных технологий для изготовления GdBa2Cu3O7-x лент с использованием методов химического и физического осаждения слоев [2]. В связи с высоким потенциалом внедрения сверхпроводников в различные отрасли необходимо более глубокое исследование их характеристик и свойств.

Одним из таких направлений может быть использование устройств на базе сверхпроводников в области медицинской техники. ВТСП-катушки используются в аппаратах МРТ, которые являются аппаратами медицинского назначения, что говорит о повышенных требованиях к обеспечению надежности системы и безопасности для человека. Однако на рынке недостаточно оборудования отечественного производства, разработка которого требует дополнительных исследований. Одной из проблем является ухудшение характеристик изделий из сверхпроводников в процессе их эксплуатации.

В данной работе исследуется вибропрочность ВТСП-катушек, изготовленных из сверхпроводника второго поколения в соответствии с техническими условиями на ВТСП-провод САПТ.01000.00004 ТУ и связующего компаунда в соответствии со спецификацией ТО-29-1. Посредством проведения анализа существующей информации о сверхпроводниках в медицине, была написана методика проведения испытаний. На основании разработанной методики активно проводятся испытания ВТСП-катушек.

В результате проведения испытаний и обработки данных планируется вывести зависимость влияния вибрационных нагрузок на свойства сверхпроводимости.

В ходе сопоставления обработанных данных планируется вывести зависимости ухудшения работоспособности ВТСП-катушек после воздействий вибрационных нагрузок.

Литература:

1. J. G. Bednorz and K. A. Mueller, Z. Phys. Condens. Matter 64(2), 189 (1986).
2. S. Li, V. Petrykin, A. Molodyk, et al., Supercond. Sci. Technol. 27, 044022 (9pp) (2014).

Investigation of vibration effects on HTSC coils

Omelchenko A.V.
MAI, Moscow, Russia

High-temperature superconductivity was discovered more than 25 years ago [1]. The effect of high-temperature superconductivity, despite the absence of insufficient theoretical justification for its occurrence and existence, is already widely used in everyday practice. The SuperOx company was founded with the aim of developing effective technologies for the manufacture of GdBa2Cu3O7-x tapes using methods of chemical and physical deposition of layers [2]. Due to the high potential of introducing superconductors into various industries, a deeper study of their characteristics and properties is needed.

One of such directions may be the use of devices based on superconductors in the field of medical technology. HTSP coils are used in MRI machines, which are medical devices, which indicates increased requirements for ensuring the reliability of the system and safety for humans. However, there is not enough equipment of domestic production on the market, the development of which requires additional research. One of the problems is the deterioration of the characteristics of products made of superconductors during their operation.

In this paper, the vibration resistance of HTSP coils made of a second-generation superconductor in accordance with the specifications for the HTSP wire SAPT.01000.00004 TU and a binder compound in accordance with the TO-29-1 specification is investigated. By analyzing the existing information about superconductors in medicine, a test procedure was written. Based on the developed methodology, HTSP coils are being actively tested.

As a result of testing and data processing, it is planned to deduce the dependence of the influence of vibration loads on the properties of superconductivity.

During the comparison of the processed data, it is planned to deduce the dependences of the deterioration of the performance of the HTS coils after the effects of vibration loads.

References:

1. J. G. Bednorz and K. A. Mueller, Z. Phys. Condens. Matter 64(2), 189 (1986).

2. S. Li, V. Petrykin, A. Molodyk, et al., Supercond. Sci. Technol. 27, 044022 (9pp) (2014).

Оптимальное размещение объектов на поверхности земли

Офицеров В.П.

МАИ, г. Москва, Россия

В докладе изложен подход к постановке и решению задач оптимального размещения объектов на поверхности земли. Рассматривается набор из n возможных точек (областей) на поверхности земли, в которых можно разместить не более d объектов произвольной природы (например, заводов). Размещение объекта в некоторой области связано с эффектом размещения в этой области и затратами ресурсов на размещение. Требуется так разместить не более d объектов среди n возможных областей, чтобы получить максимальный эффект от размещения при выполнении ограничений на ресурсы. От классической задачи, например, линейного программирования оптимального распределения ограниченных ресурсов между заданными n переменными (областями) рассматриваемая постановка отличается необходимостью учета дополнительного ограничения: ресурс должен быть распределен не более чем по d заранее неизвестным точкам (где d не больше n) [1-3]. Предлагаемый метод решения развивает идеи динамического программирования [4] в плане построения рекурсий вычислений на основе результатов, полученных на предыдущих шагах. Он распространяется и на некоторые виды нелинейных целевых функций.

Литература:

1. Офицеров В.П., Смирнов С.В. Метод решения задачи о рюкзаке с дополнительным ограничением на число типов предметов. Челябинский физико-математический журнал. – 2022. – Т. 7, вып. 3. С. 267 – 276.

2. Офицеров В.П., Бузин М.В. Об одном типе задач о рюкзаке и их решении. 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». – 23-27 ноября 2020 года. Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2020. - 980 с. (С. 296 -298).

3. Офицеров В.П., Смирнов С.В. Оптимизация при ограничении числа проектных переменны. Онтология проектирования. – 2021. – Т.11, №2. С. 227-238.

4. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. – М.: Наука, 1965. – 460 с.

Optimum placement of objects on the Earth's surface

Ofitserov V.P.

MAI, Moscow, Russia

In the report the approach to setting and the solution of tasks of optimum placement of objects on the Earth's surface is explained. The set from n of possible points (areas) on the Earth's surface in which it is possible to place no more d of objects of any nature is considered (for example, the plants). Placement of an object in some area is connected to effect of placement in this area and costs of resources of placement. It is required to place so no more d of objects among n of possible areas to gain the maximum effect of placement when performing restrictions for resources. For example, of the linear programming of optimum allocation of limited resources between the given n variable (areas) the considered setting differs from the classical task in need of accounting of additional

restriction: the resource shall be distributed no more than on d to in advance unknown points (where d no more n) [1-3]. The offered method of solution develops the ideas of dynamic programming [4] in respect of creation of recursions of computation on the basis of the results received on the previous steps. It extends also to some types of non-linear target functions.

Literature:

1. V.P. Ofitserov, S.V. Smirnov. A task method of solution about a backpack with additional restriction for number of types of objects. Chelyabinsk physical and mathematical log. - 2022. - T. 7, issue 3. Page 267 - 276.

2. V.P. Ofitserov, M.V. Buzin. About one type of tasks about a backpack and their solution. the 19th International conference "Aircraft and Astronautics". - November 23-27, 2020. Moscow. Theses. - M.: Pero publishing house, 2020. - 980 pages (Page 296 - 298).

3. V.P. Ofitserov, S.V. Smirnov. Optimization in case of restriction of number project changes. Design ontology. - 2021. - T.11, No. 2. Page 227-238.

4. R. Bellman, S. Dreyfus. Application-oriented tasks of dynamic programming. – M.: Science, 1965. - 460 pages.

Анализ популярных фреймворков и библиотек, предназначенных для Frontend-разработки веб-приложений

Охрименко Н.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Одним из самых перспективных направлений в области создании программного обеспечения является frontend-разработка. Чтобы специалист в данной области был востребован на рынке труда, он должен не только обладать соответствующими знаниями и навыками, но и быть достаточно хорошо осведомленным о современных направлениях технологического развития, которые, следует отметить, изменяются сравнительно быстро.

В настоящее время, фреймворки и библиотеки, применяемые для frontend, уже стали неотъемлемой частью разработки web-приложений. Они упрощают выполнение поставленных задач, позволяя разработчикам контролировать процесс с помощью единой платформы. На данный момент реализовано достаточно большое количество подобных инструментов и для эффективного решения поставленных задач специалисту необходимо четко понимать разницу между ними и применять наиболее оптимальное технологическое решение.

Целью данной работы было проведение анализа популярных на 2022 год фреймворков и библиотек, предназначенных для frontend-разработки web-приложений.

Для достижения поставленной цели были рассмотрены следующие frontend-фреймворки, использующие в качестве основного языка JavaScript:

- React;
- Angular;
- Backbone.js;
- Ember.

Также внимание было уделено таким библиотекам, как:

- Ractive JS;
- Knockout JS.

В результате выполнения данной работы, была собрана общая информация об указанных фреймворках и библиотеках, рассмотрены плагины, системы управления пакетами, а также производительность каждого представленного для frontend-разработки инструмента. На основе полученных данных, проведен сравнительный анализ.

Analysis of popular frameworks and libraries designed for front-end development of web applications

Okhrimenko N.I.
MAI, Moscow, Russia

One of the most promising areas in the field of software development is frontend development. In order for a specialist in this field to be in demand on the labor market, he must not only have the relevant knowledge and skills, but also be fairly well aware of the current trends in technological development, which, it should be noted, are changing relatively quickly.

Currently, the frameworks and libraries used for the frontend have already become an integral part of the development of web applications. They simplify the execution of tasks, allowing developers to control the process using a single platform. At the moment, a fairly large number of such tools have been implemented, and in order to effectively solve the tasks set, a specialist needs to clearly understand the difference between them and apply the most optimal technological solution.

The purpose of this work was to analyze popular frameworks and libraries for 2022 designed for frontend development of web applications.

To achieve this goal, the following frontend frameworks were considered, using JavaScript as the main language:

- React;
- Angular;
- Backbone.js
- Ember.

Also, attention was paid to such libraries as:

- Ractive JS;
- Knockout JS.

As a result of this work, general information about the specified frameworks and libraries was collected, plugins, package management systems, as well as the performance of each tool presented for frontend development were considered. Based on the data obtained, a comparative analysis was carried out.

Разработка программного модуля функционального узла измерительного контура в рамках концепции виртуальных приборов

Перчихин О.И., Федоренко А.О.
МАИ, г. Москва, Россия

При испытаниях с целью подтверждения соответствия требованиям ЭМС обычно используются измерительные средства, в том числе приемники электромагнитных излучений, параметры которых оптимизированы для осуществления указанных испытаний. Одним из функциональных расширений современных измерительных приемников является наличие прикладного программного обеспечения, позволяющее осуществлять измерения удаленно. Это позволяет автоматизировать процесс испытаний, что влечет за собой сокращение сроков проведения и повышение достоверности результатов испытаний, путем минимизации действий оператора. Однако существенным недостатком большинства из них является невозможность их комплексирования в единое виртуальное окружение с другими измерительными средствами.

Целью данной работы являлась разработка программного модуля функционального узла автоматизированного измерительного контура в среде LabVIEW для обработки показаний приёмника Narda PMM 9010F и его графического интерфейса пользователя. Приемник позволяет проводить измерения значений среднего, пикового (максимальное и минимальное значение), квазипикового, среднего квадратического значения уровней входных сигналов, частоты несущего колебания и его спектральных составляющих, индикации результатов измерений уровней в виде гистограмм уровней сигнала (режим измерительного приемника), либо в виде спектра сигнала (режим анализатора спектра).

Информация, передаваемая приемником в ответ на соответствующий запрос, представляется в кодировке ASCII и несёт в себе информацию о шаге сканирования и амплитуде на текущей частоте в формате чисел с плавающей точкой.

Для экспериментальной обработки и проверки работоспособности автоматизированного программного обеспечения, данные полученные в результате измерений сравнивались с результатами эксперимента, проведенными с использованием программного обеспечения производителя. По результатам исследований, было подтверждено, что параметры, измеряемые приемником, принимаются и обрабатываются корректно.

Результаты данной работы могут быть применены для включения в автоматизированный измерительный контур для проведения испытаний на электромагнитную совместимость устройств и кабельных изделий.

Литература:

1. «Расчетно-экспериментальные методы оценки соответствия технических средств заданным требованиям электромагнитной стойкости и безопасности» /Н.В. Балюк, А.А. Давыдов, Д.И. Крохалев, С.Д.Орлов, Технологии ЭМС 2018. № 2(65).

2. «Автоматизация процесса испытаний авиационной техники и вооружения на действие электромагнитных полей радиотехнических средств»/ К.А. Виноградов, В.Г. Кормишин, Д.И. Крохалев, М.В. Зорин, Д.Е. Щукин, Технологии ЭМС 2020. № 1(72).

3. Виноградов К.А. Разработка автоматизированного испытательного комплекса для обеспечения испытаний объектов на действие электромагнитных факторов. – Труды конференции «Электромагнитная совместимость и проектирование электронных средств». – Москва, 2009.

4. ЭМС для разработчиков продукции/ Т.Уильямс – Издательский дом «Технологии» 2021. – 408с.

5. «Проектирование испытательных стендов для экспериментальной отработки ракетно-космической техники» /А.Г.Галеев Ю.В.Захаров В.П.Макаров В.В.Родченко, Москва Издательство МАИ 2014.

6. «Основы программирования в среде LabVIEW» /А.С.Васильев О.Ю.Лашманов, г. Санкт-Петербург университет ИТМО 2015.

Development of the functional node software module for the automated test stand within the virtual instruments framework

Perchikhin O.I., Fedorenko A.O.

MAI, Moscow, Russia

During tests to confirm compliance of the EMC requirements usually uses measuring instruments, including electromagnetic receivers, which parameters are optimized for the implementation of these tests. One of the functional extensions of modern measuring receivers is the availability of application software that allows measurements to be carried out remotely. This allows you to automate the testing process, which entails reduction in the timing and increasing the reliability of test results by minimizing actions the operator. However, a significant disadvantage of most of them is the inability to integrate them into a single virtual environment with other measuring instruments.

The purpose of this work was to develop a a functional node software module of an automated measuring stand in LabVIEW environment for processing the readings of the Narda PMM 9010F receiver and realize its graphical user interface. The receiver allows you to measure the values of the average, peak (maximum and minimum values), quasi-peak, average square values of the levels input signals, frequency of the carrier oscillation and its spectral components, indication of level measurement results in the form of histograms signal levels (measuring receiver mode), or in the form of a signal spectrum (spectrum analyzer mode).

The information transmitted by the receiver in response to the corresponding request is represented in ASCII encoding and carries information about the scanning step and amplitude at the current frequency in the format of floating-point numbers.

For experimental processing and verification of the operability of automated software, the data obtained in the results of the measurements were compared with the results of the experiment

conducted using the manufacturer's software. According to the research results, it was confirmed that the parameters measured by the receiver are received and processed correctly.

The results of this work can be applied for inclusion in an automated measuring circuit for testing the electromagnetic compatibility of devices and cable products.

References:

1. "Computational and experimental methods for assessing the compliance of technical means with the specified requirements of electromagnetic resistance and safety" / N.V. Balyuk, A.A. Davydov, D.I. Krokhalev, S.D.Orlov, EMC technologies 2018. № 2(65)

2. EMC for Product Designer/ T.Williams – Oxford Auckland boston Johannesburg melborune newdehi 2021- 408 p.

3. "Designing test benches for experimental testing of rocket and space technology" /A.G.Galeev Yu.V.Zakharov V.P.Makarov V.V.Rodchenko, Moscow Publishing House MAI 2014

4. "Using the complex of electromagnetic analysis of packaged products to assess the electromagnetic compatibility of electronic devices" / A.S.Gorbunov, D.M.Zinoviev, N.G.Vostokov, Al.S.Gorbunov //Radio electronics issues. 2018. No. 12.

5. "Fundamentals of programming in the LabVIEW environment" /A.S.Vasiliev O.Y.Lashmanov, St. Petersburg ITMO University 2015

Использование искусственных нейронных сетей в структуре системы автоматического управления

Петрова А.А., Бибикова К.И., Ершов В.С., Аполлонов Д.В.
ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Развитие вычислительных методов и математических основ машинного обучения позволило использовать искусственные нейронные сети (ИНС) для решения различных задач авиации, в том числе, и для решения задач управления.

В настоящем докладе показана возможность управления беспилотным летательным аппаратом (БЛА) при помощи ИНС. Рассмотрен способ управления, при котором регулятор после настройки представлен в виде нейронной сети известной структуры с фиксированными параметрами, что позволяет прошить данный алгоритм в полётный контроллер. Способность нейронной сети к аппроксимации позволяет предварительно заменить объект управления, т.е. БЛА, его нейросетевой моделью, которая в дальнейшем используется для настройки нейросетевого регулятора. Настройка происходит в соответствии с заранее выбранной эталонной моделью. По рассогласованию выхода эталонной модели и нейросетевой модели объекта управления, параметры нейрорегулятора корректируются таким образом, чтобы рассогласование стало минимальным. Данные для синтеза регулятора и создания нейросетевой модели объекта управления были получены при моделировании, а оптимизационные методы, необходимые для обучения сетей, подобраны в ходе исследования.

Особенностью системы управления с нейросетевыми регуляторами является сложность оценки устойчивости. В данном докладе с помощью метода линейных матричных неравенств была показана устойчивость предложенной системы управления.

Другим вариантом обеспечения устойчивости, рассмотренным в работе, является предварительный выбор функции Ляпунова и последующая настройка параметров ИНС, обеспечивающая соответствие выбранной функции условиям, гарантирующим устойчивость БЛА с предлагаемой структурой системы управления.

Use of artificial neural networks in automated control system structure

Petrova A.A., Bibikova K.I., Ershov V.S., Apollonov D.V.
TsAGI, Zhukovsky, Russia

Development of machine learning computational methods and mathematical foundation enabled the use of artificial neural networks (ANN) for solving different aviation tasks including control tasks.

The report shows the possibility to control an unmanned aerial vehicle (UAV) by means of ANN. The control method is discussed in which the regulator after adjustment is presented as a neural network of known structure with fixed parameters; this allows insert the algorithm into flight

controller. Neural network capability for approximation makes possible to substitute the control object by its neural network model in advance which is later used to adjust the NNC. The adjustment takes place according to the reference model selected in advance. Using mismatch of the reference model and control object neural network, NNC parameters are adjusted to minimize the mismatch. The data for regulator synthesis and control object neural network model were obtained through modeling, and optimization methods required for network learning were selected during study.

The specific feature of control systems with neural network controllers is complex assessment of stability. In the report, the stability of proposed control system by method of linear matrix inequalities was demonstrated.

Another option to ensure stability, discussed in this report, is the preliminary choice of Lyapunov function and subsequent ANN parameters adjustment to provide the selected function to satisfy the conditions, which guarantee the stability UAV with proposed control system.

Управление ориентацией одноосного колесного робота с двухстепенной платформой

Петрухин В.А., Черноморский А.И., Черникова О.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Одна из существенных проблем предполетного и послеполётного обслуживания воздушного судна (ВС) заключается в необходимости роботизации визуального осмотра дефектов наружной поверхности ВС на его стоянке. Перспективным направлением решения этой проблемы является использование в качестве носителя аппаратуры мониторинга ОКРДП – трехосный наземный индикаторный гироскопический стабилизатор с маховично-гравитационным управлением платформой [1-8]. Такой робот осуществляет объезд ВС с одновременным наведением оптической оси аппаратуры мониторинга на поверхность ВС, последующим фотографированием и фотограмметрическим восстановлением поверхности, выявлением и определением параметров ее дефектов. Целью настоящей работы является изложение результатов разработки СУОП ОКРДП для роботизированного визуального осмотра дефектов нижней части наружной поверхности ВС на его стоянке. Определен функциональный состав основных систем робота и разработана математическая модель его движения Представлены результаты моделирования работы СУОП в процессе визуального роботизированного осмотра дефектов нижней части наружной поверхности ВС на его стоянке.

[1] Aleshin B.S., Lelkov K.S., Khorev T.S., Chernomorsky A.I., Miheev V.V., Kuris E.D., Petruhin V.A. Ground uniaxial wheeled modules for transportation and angular orientation control of enviromental monitoring equipment. // 28th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2021. 28. 2021. C. 9470876.

[2] Aleshin B.S., Chernomorskiy A.I., Feshchenko S.V. and others. Orientation, navigation and stabilization of single-axle wheel modules / Ed. B. S. Aleshin, A. I. Chernomorskiy M .: Publishing house MAI, 2012.271 p.

[3] Maksimov V.N., Chernomorsky A.I. Integrated navigation and local mapping system for a uniaxial wheel module // Gyroscopy and navigation. 2016.T.92. No. 1. P. 116-132.

[4] Maksimov V.N., Chernomorskiy A.I. Control system for a nonholonomic uniaxial wheel module for monitoring the geometric parameters of airfield pavements // Izv. RAS. TiSU. 2015. No. 3. S. 156-167.

[5] Aleshin B.S., Kuris E.D., Lel'kov K.S., Maksimov V.N., Chernomorsky A.I. Control of the angular orientation of the platform of a uniaxial wheel module when it moves along the underlying surface without slipping // Izv. RAS. TiSU. # 1. 2017.S. 125-135

[6] Aleshin BS, Maksimov VN, Mikheev VV, Chernomorskii AI Stabilization in the plane of the horizon of a two-degree platform of a uniaxial wheeled module moving along a given trajectory on the underlying surface. Izv. RAS. TiSU. 2017. No. 3. S. 135-147.

[7] Belotelov VN, Martynenko Yu. G. Control of the spatial motion of an inverted pendulum mounted on a wheel pair // Izv. RAS. MTT. 2006. No. 6. P. 10–28.

[8] Aleshin B.S., Kuris E.D., Lelkov K.S., Miheev V.V., Chernomorsky A.I. Integrated navigation system of single-axle wheeled robot with two degrees of freedom rotating platform. Journal of

Physics: Conference Series. 7. Сер. "Information Technology, Telecommunications and Control Systems, ITTCS 2020" 2020. С. 012019.

Attitude control for the uniaxial wheeled robot with a two-degree-of-freedom platform

Petrukhin V.A., Chernomorscky A.I., Chernikova O.A.
MAI, Moscow, Russia

One of the significant problems of pre-flight and post-flight maintenance of an aircraft is the need for robotic visual inspection of defects in the outer surface of an aircraft in its parking lot. A promising direction for solving this problem is the use of a UWR2DP as a carrier of monitoring equipment. In fact, the robot is a three-axis ground-based based indicatory gyroscopic stabilize with a flywheel-gravity platform control [1-8]. Such a robot bypasses the aircraft with simultaneous guidance of the optical axis of the monitoring equipment on the surface of the aircraft, subsequent photography and photogrammetric restoration of the surface, detection, and determination of the parameters of its defects. The purpose of this paper is to present the results of the development of PACS for the robotic visual inspection of defects in the lower part of the outer surface of an aircraft in its parking lot. The functional composition of the main systems of the robot is determined and a mathematical model of its movement is developed. The results of the simulation of the operation of the PACS during the visual robotic inspection of defects in the lower part of the outer surface of the aircraft in its parking lot are presented.

[1] Aleshin B.S., Lelkov K.S., Khorev T.S., Chernomorsky A.I., Miheev V.V., Kuris E.D., Petruhin V.A. Ground uniaxial wheeled modules for transportation and angular orientation control of enviromental monitoring equipment. // 28th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2021. 28. 2021. С. 9470876.

[2] Aleshin B.S., Chernomorskiy A.I., Feshchenko S.V. and others. Orientation, navigation and stabilization of single-axle wheel modules / Ed. B. S. Aleshin, A. I. Chernomorskiy M .: Publishing house MAI, 2012.271 p.

[3] Maksimov V.N., Chernomorsky A.I. Integrated navigation and local mapping system for a uniaxial wheel module // Gyroscopy and navigation. 2016.T.92. No. 1. P. 116-132.

[4] Maksimov V.N., Chernomorskiy A.I. Control system for a nonholonomic uniaxial wheel module for monitoring the geometric parameters of airfield pavements // Izv. RAS. TiSU. 2015. No. 3. S. 156-167.

[5] Aleshin B.S., Kuris E.D., Lel'kov K.S., Maksimov V.N., Chernomorsky A.I. Control of the angular orientation of the platform of a uniaxial wheel module when it moves along the underlying surface without slipping // Izv. RAS. TiSU. # 1. 2017.S. 125-135

[6] Aleshin BS, Maksimov VN, Mikheev VV, Chernomorskii AI Stabilization in the plane of the horizon of a two-degree platform of a uniaxial wheeled module moving along a given trajectory on the underlying surface. Izv. RAS. TiSU. 2017. No. 3. S. 135-147.

[7] Belotelov VN, Martynenko Yu. G. Control of the spatial motion of an inverted pendulum mounted on a wheel pair // Izv. RAS. MTT. 2006. No. 6. P. 10–28.

[8] Aleshin B.S., Kuris E.D., Lelkov K.S., Miheev V.V., Chernomorsky A.I. Integrated navigation system of single-axle wheeled robot with two degrees of freedom rotating platform. Journal of Physics: Conference Series. 7. Сер. "Information Technology, Telecommunications and Control Systems, ITTCS 2020" 2020. С. 012019.

Семантический анализ текстов на основе искусственного интелекта

Пименова О.В., Галиев Д.В., Жиганин А.Я.
МосУ МВД России им. В.Я. Кикотя, г. Москва, Россия

В современном мире люди сталкиваются с обработкой огромных массивов данных, что порождает задачу по быстрому анализу, классификации, и структуризации информации, в том числе текстовой.

Для решения задач, связанных с обработкой естественного языка (NLP – Natural language processing), была написана программа на высокоуровневом языке программирования Python, которая представляет собой систему построения ассоциаций (далее СПА) к заданному

массиву слов. Данная СПА состоит из следующих модулей: лемматизации текста, обучения модели искусственного интеллекта, построения ассоциаций.

Модуль лемматизации реализует нормализацию текста, т.е. процесс приведения слова к его начальной словарной форме, удаление стоп-слов (слов, не несущих семантической значимости – союзов, местоимений, частиц и междометий), и приведение всех слов к нижнему регистру. Для работы модуля используются библиотеки ntlk (удаление стоп-слов) и pymorphy2 (морфологический анализ текста).

Модуль обучения модели ИИ позволяет создавать и обучать собственные модели искусственного интеллекта на заранее заготовленных дата-сетах. В зависимости от загружаемых дата-сетов можно создавать модели, ориентированные на различные задачи. Для написания данного модуля используется класс Word2Vec из библиотеки gensim, который используется для построения модели, а также дальнейшей работы СПА.

Модуль построения ассоциаций – ключевой модуль СПА, в который загружается уже нормализованный текст, а в результате работы получается таблица ассоциаций для каждого слова из текста, где в первом столбце идут слова-ассоциации, а во втором – коэффициент косинусной близости.

Эффективность работы модуля зависит непосредственно от модели ИИ, а точнее от дата-сета, на котором обучалась модель, и аргументов, указанных при обучении модели.

Резюмируя, можно сказать, что описанная выше технология может применяться для осуществления семантического анализа текста, сравнения двух текстов путем поиска суммы коэффициентов косинусной близости, поиска ключевых слов в тексте и иных задач по обработке текстовой информации.

Semantic analysis of texts based on artificial intelligence

Pimenova O.V., Galiev D.V., Jiganin A.Ya
MosU of the MIA named by V.Ya. Kikotya, Moscow, Russia

In the modern world, people are faced with processing huge amounts of data, which gives task of analysis, classification, and structuring of information, including text.

To solve problems related to natural language processing (NLP – Natural language processing), a program was written in the high-level Python programming language, which is a system for building associations (hereinafter SBA) to a given array of words. This SBA consists of the following modules: text lemmatization, artificial intelligence model training, association building.

The lemmatization module implements text normalization, i.e. the process of bringing a word to its initial dictionary form, removing stop words (words that do not carry semantic significance – conjunctions, pronouns, particles and interjections), and bringing all words to lowercase. The module uses the libraries ntlk (removal of stop words) and pymorphy2 (morphological analysis of text).

The AI model training module allows you to create and train your own artificial intelligence models on pre-prepared data sets. Depending on the downloaded data sets, you can create models focused on various tasks. To write this module, the Word2Vec class from the gensim library is used, which is used to build a model, as well as further SBA work.

The association building module is a key SBA module into which the already normalized text is loaded, and as a result of the work, a table of associations for each word from the text is obtained, where the association words are in the first column, and the cosine proximity coefficient is in the second.

The efficiency of the module depends directly on the AI model, or rather on the data set on which the model was trained, and the arguments specified when training the model.

Summarizing, we can say that the technology described above can be used to carry out semantic text analysis, compare two texts by searching for the sum of cosine proximity coefficients, searching for keywords in the text and other tasks for processing text information.

Реализация цифрового скользящего режима в системе управления следящим электроприводом

Плыкина Е.В., Макаров Н.Н.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Применение в следящей системе релейного регулятора, работающего в скользящем режиме, позволяет обеспечить не только высокую, при определённых условиях практически идеальную, точность слежения, но и робастность системы по отношению к параметрам объекта управления.

Широкое распространение цифровых регуляторов, основанных на использовании микроконтроллеров, с одной стороны расширяет возможности применения сложных нелинейных законов управления, с другой стороны вызывает новые проблемы, связанные с дискретным по времени характером управления.

Применение релейных цифровых законов управления приводит к возникновению сложных колебательных режимов [3].

В настоящей работе сделана попытка преодоления указанных трудностей за счёт формирования особого режима движения, названного «цифровым скользящим режимом» (ЦСР). Суть этого режима заключается в вычислении на каждом такте управления такого значения управляющего воздействия, при котором к началу следующего такта фазовая точка оказывается на поверхности скольжения. При этом сохраняется главное свойство скользящего режима – фазовая точка всё время остаётся практически на поверхности скольжения. Такой подход перекликается, с одной стороны, с методом эквивалентного управления, а с другой – с методом МРС.

Приводится условие возникновения ЦСР «в малом». Получены условия возникновения скользящего режима из любых начальных условий. Для этого был использован метод фазового годографа [6,7]. Разработаны два закона управления, реализующие ЦСР с использованием полного вектора состояния системы и с использованием только текущего и предыдущих значений входного сигнала, а также текущего и нескольких предыдущих значений выходного сигнала и управления.

В ходе работы проведено моделирование системы. В качестве объекта управления выбран следящий электропривод.

Результаты моделирования показали высокую точность слежения. Ошибка слежения составила 4*10-5 радиан, что позволяет сделать вывод о целесообразности дальнейшего теоретического исследования ЦСР а также рекомендовать его к использованию в промышленности.

Литература:

1. Уткин В.И. Скользящие режимы и их применения в системах с переменной структурой. / М. Наука. 1974. 272с.

2. Иванов В.А. Фалдин Н.В. Теория оптимальных систем управления. / М. Наука, 1981. 331с.

3. Феофилов С.В., Козырь А.В., Анализ периодических движений в цифровых автоколебательных системах управления. // Мехатроника, автоматизация и управление. 2018 Т. 19, № 8, С587-594.

4. Макаров Н.Н., Плыкина Е.В. Цифровой скользящий режим в следящем приводе с линейными обратными связями // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2021. Вып. 11. С. 26-33.

5. Красовский Н.Н. Теория управления движением. Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1968, 476с.

6. Фалдин. Н.В. Синтез релейных систем методом фазового годографа // Известия вузов. Приборостроение. – 1982 № 7. – С 32-36.

7. Макаров Н.Н. Алгоритм численного построения фазового годографа релейной системы / Н.В. Фалдин, Н.Н. Макаров, С.А. Руднев и др. //Газовые приводы и системы управления. Тула: изд-во ТулПИ, 1983. – С 138-143.

Implementation of the digital sliding mode in the control system of the servo drive

Plykina E.V., Makarov N.N.
TulSU, Tula, Russia

The use of a relay controller operating in a sliding mode in a tracking system makes it possible to provide not only high, under certain conditions, almost ideal, tracking accuracy, but also the robustness of the system in relation to the parameters of the control object.

The widespread use of digital controllers based on the use of microcontrollers, on the one hand, expands the possibilities of applying complex nonlinear control laws, on the other hand, causes new problems associated with the time-discrete nature of control.

The use of relay digital control laws leads to the emergence of complex oscillatory modes [3].

In this paper, an attempt is made to overcome these difficulties by forming a special mode of motion, called the "digital sliding mode" (DSM). The essence of this mode is to calculate at each control cycle such a value of the control action, at which, by the beginning of the next cycle, the phase point is on the sliding surface. At the same time, the main property of the sliding mode is preserved – the phase point all the time remains practically on the sliding surface. This approach resonates, on the one hand, with the equivalent control method, and, on the other hand, with the MPC method.

The condition for the emergence of CSR "in the small" is given. The conditions for the emergence of a sliding mode from any initial conditions are obtained. For this, the phase hodograph method was used [6, 7]. Two control laws have been developed that implement the CSS using the full system state vector and using only the current and previous values of the input signal, as well as the current and several previous values of the output signal and control.

In the course of the work, the simulation of the system was carried out. The servo drive is selected as the control object.

The simulation results showed high tracking accuracy. The tracking error was 4*10-5 radians, which makes it possible to conclude that further theoretical study of the CSS is expedient and to recommend it for use in industry.

References:

1. Utkin V.I. Sliding modes and their applications in systems with variable structure. / M. Science. 1974. 272p.

2. Ivanov V.A. Faldin N.V. Theory of optimal control systems. / M. Nauka, 1981. 331s.

3. Feofilov S.V., Kozyr A.V., Analysis of periodic motions in digital self-oscillating control systems. // Mechatronics, automation and control. 2018 Vol. 19, No. 8, C587-594.

4. Makarov N.N., Plykina E.V. Digital sliding mode in a servo drive with linear feedback // Bulletin of the Tula State University. Engineering Sciences, 2021. Issue. 11. S. 26-33.

5. Krasovsky N.N. Theory of motion control. Nauka Publishing House, Main Editorial Board of Physical and Mathematical Literature, 1968, 476p.

6. Faldin. N.V. Synthesis of relay systems by the phase locus method. Izvestiya vuzov. Instrumentation. - 1982 No. 7. - From 32-36.

7. Makarov N.N. Algorithm for the numerical construction of the phase hodograph of a relay system / N.V. Faldin, N.N. Makarov, S.A. Rudnev et al. //Gas drives and control systems. Tula: publishing house TulPI, 1983. - P. 138-143.

Исследование возможности применения визуальной одометрии в качестве корректора навигационной системы малых БЛА в городских условиях

Пронькин А.Н., Веремеенко К.К., Жарков М.В., Кузнецов И.М.
МАИ, г. Москва, Россия

Одним из маркеров современного общества является бурное развитие автономной робототехники и внедрение её в различные сферы жизни. Автономное функционирование предполагает решение в бортовом вычислителе задач управления и навигации с требуемой для своей области применения точностью. Достижение требуемой точности обеспечивается применением различного рода измерительных датчиков (инициальные измерительные блоки (ИИБ), лидары, ультразвуковые сонары, приёмники глобальных навигационных спутниковых

сигналов (ГНСС), и др.). Для решения задач навигации таких объектов как мультироторные беспилотные летальные аппараты (БЛА) наибольшее распространение получил подход интеграции ИИБ с преемниками ГНСС на базе оптимального фильтра Калмана. Однако использование приёмников в городской черте связано неудовлетворительным приёмом спутникового сигнала, который может отражаться или затеняться высокими зданиями или близстоящими конструкциями. Решение этой проблемы без существенного изменения состава навигационных измерителей и стоимости БЛА заключается в использовании в качестве дополнительного измерителя видеокамеры, по видеопотоку с которой возможно реализовать алгоритм визуальной одометрии [2]. Наибольшее развитие алгоритмы визуальной одометрии при использовании движения по замкнутому циклу, которые носят названия SLAM (Simultaneous Localization and Mapping, одновременная локализация и построение карты). Недостатком использования алгоритмов SLAM является движение по замкнутому контуру, а также высокая вычислительная нагрузка.

В настоящей работе предлагается подход построения фильтра Калмана, в котором коррекция происходит на основе скоростной информации, вычисленной по алгоритмам визуальной одометрии. В качестве модели динамики выбрана модель ошибок трёхканальной инерциальной навигационной системы, вектор состояния включает в себя три компоненты ошибки определения координат, скорость изменения этих ошибок, ошибки определения ориентации базового трёхгранника, постоянные составляющие дрейфов гироскопов и сдвиг нулевого сигнала акселерометров. Измерения строятся как разность скоростных показаний, вычисленных по алгоритмам бесплатформенной инерциальной навигационной системы и результатам работы алгоритма визуальной одометрии.

В работе приводятся результаты имитационного моделирования, исследуется достижимая точность работы навигационной системы и даётся оценка возможности реализации такого подхода.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер темы FSFF-2020-0015.

Investigation of the possibility of using visual odometry as a corrector of the navigation system of small UAVs in urban conditions

Pronkin A.N., Veremeenko K.K., Zharkov M.V., Kuznetsov I.M.
MAI, Moscow, Russia

One of the markers of modern society is the rapid development of autonomous robotics and its introduction into various spheres of life. Autonomous operation involves solving control and navigation tasks in the on-board computer with the accuracy required for its field of application. Achieving the required accuracy is ensured by the use of various kinds of measuring sensors (initial measuring units (IMU), lidars, ultrasonic sonars, receivers of global navigation satellite signals (GNSS), etc.). To solve the problems of navigation of such objects as multirotor unmanned aerial vehicles (UAVs), the approach of integrating IMU with GNSS successors based on the optimal Kalman filter has become the most widespread. However, the use of receivers in urban areas is associated with unsatisfactory reception of the satellite signal, which can be reflected or obscured by tall buildings or nearby structures. The solution to this problem without significantly changing the composition of navigation meters and the cost of the UAV is to use a video camera as an additional meter, using a video stream from which it is possible to implement a visual odometry algorithm. Visual odometry algorithms are most developed when using closed-loop motion, which are called SLAM (Simultaneous Localization and Mapping, simultaneous localization and map construction). The disadvantage of using SLAM algorithms is closed-loop motion, as well as high computational load.

In this paper, we propose an approach to constructing a Kalman filter, in which the correction takes place on the basis of speed information calculated using visual odometry algorithms. A model of errors of a three-channel inertial navigation system was chosen as a model of dynamics, the state vector includes three components of coordinate determination errors, the rate of change of these errors, errors in determining the orientation of the base trihedron, constant components of gyroscope

drifts and the zero signal shift of accelerometers [1]. The measurements are constructed as a difference of speed readings calculated by the algorithms of the strapdown inertial navigation system and the results of the visual odometry algorithm.

The paper presents the results of simulation modeling, examines the achievable accuracy of the navigation system and assesses the possibility of implementing such an approach.

The work was performed within the framework of the state task of the Ministry of science and higher education of the Russian Federation, topic number FSFF-2020-0015.

Ресурсно-оптимизированная динамическая модель преобразования затворной области МОП-транзистора в процессе поверхностной самодиффузии

Романов Ю.А., Приходько П.С.

АО «Российские космические системы», г. Москва, Россия

Полевые транзисторы с вертикальным затвором находят широчайшее применение в современной силовой электронике как в качестве твердотельных реле, так и силовых ключей в схемах преобразования напряжения. Твердотельные реле способны срабатывать практически неограниченное количество раз при отсутствии проблемы выгорания контактов. Применение же таких приборов в качестве быстродействующих силовых ключей позволяет уменьшить габариты изготавливаемых преобразователей напряжения.

Основной конструктивный элемент полевого транзистора с вертикальным затвором – это вертикальный затвор, формируемый в кремниевой пластине путем плазмохимического вытравливания канавок либо ячеек, формирования подзатворного диэлектрика и кремниевого затвора поверх него.

Плазмохимическое травление вносит ряд дефектов, в частности, неровности стенки, нарушения кристаллической решетки, что негативно влияет на работу транзистора. Все эти дефекты, как правило, удаляются путем окисления поверхности пластины и стравливания образовавшегося окисла. Однако это приводит к нежелательному увеличению ширины канавок. Альтернативой является применение высокотемпературного водородного отжига, который приводит к диффузии атомов по поверхности кремния, за счет чего удаляются все дефекты. Одновременно с удалением дефектов происходит изменение формы поверхности. Это изменение может быть настолько значительным, что окажется невозможным сформировать затвор. Поэтому желательно иметь возможность предсказать новую форму поверхности, для чего необходимо иметь соответствующую модель.

Предложена ресурсно-оптимизированная модель, описывающая изменение формы поверхности под воздействием поверхностной самодиффузии, протекающей при высокотемпературном водородном отжиге, позволяющая сократить время расчета при сохранении точности. Показано, что снижение количества узлов расчетной сетки на определенных этапах позволяет ускорить расчет при сохранении точности. Продемонстрировано хорошее согласие результатов моделирования с экспериментальными данными, опубликованными ранее. На основе модели предложены новые режимы отжига, которые будут применены при изготовлении транзисторов на технологической линейке АО «Российские космические системы».

Resource-optimized dynamic model of MOS transistor gate region change during surface self-diffusion

Romanow Y.A., Prihodyko P.S.

Russian Space Systems JSC, Moscow, Russia

Vertical gate field-effect transistors are widely used in modern power electronics, both as solid-state relays and as power switches in voltage conversion circuits. Solid state relays are capable of tripping an almost unlimited number of times with no contact burnout problem. The use as high-speed power switches allows to reduce the size of the manufactured voltage converters.

The main structural element of a vertical gate field effect transistor is a vertical gate formed in a silicon wafer by plasma-chemical etching of trenches or cells, forming a gate dielectric and a silicon gate on top of it.

Plasma-chemical etching introduces a number of defects, in particular, wall surface foughness, crystal lattice disturbances, which negatively affects the transistor operation. All these defects, as a rule, are removed by oxidizing the surface of the plate and etching off the formed oxide. However, this leads to an undesirable increase in the width of the grooves. An alternative is the use of high-temperature hydrogen annealing, which leads to the diffusion of atoms over the silicon surface, thereby removing all defects. Simultaneously with the removal of defects, the surface shape changes. This change may be so significant that it will not be possible to form a gate. Therefore, it is desirable to be able to predict a new surface shape, for which it is necessary to have an appropriate model.

A resource-optimized model is proposed that describes the change in the surface shape under the influence of surface self-diffusion occurring during high-temperature hydrogen annealing that can reduce simulation time. It is shown that, while reducing counting grid nodes number at certain stages, it is possible to reduce simulation time at the same precision. A good agreement between the simulation results and published experimental data is demonstrated. Based on the model, new hydrogen annealing regimes are proposed that will bi used manufactured on the technological line of Russian Space Systems JSC.

Оптимизация модального фильтра на двухсторонней печатной плате с лицевыми и боковыми связями без верхнего пассивного проводника

Самойличенко М.А.
ТУСУР, г. Томск, Россия

Радиоэлектронная аппаратура развивается в сторону создания все более сложных технических средств и миниатюризации не только электронных компонентов, но и изделий, где эти компоненты применяются. Вследствие чего оборудование становится более восприимчивым к электромагнитным помехам различного происхождения. Для критичной аппаратуры, в том числе бортового оборудования космического аппарата (КА), работающего в реальном масштабе времени, недопустимы даже кратковременные сбои, которые могут привести к потере информации, ошибкам при вычислении вычислительных алгоритмов, а также потере управления. Особую опасность представляют сверхкороткие импульсы (СКИ), которые могут привести к функциональному нарушению или к функциональному поражению

Все чаще в качестве защитных устройств применяют полосковые и микрополосковые линии. Так, на их основе исследуются модальные фильтры (МФ) [2]. В таких устройствах защиты ослабление СКИ происходит за счет модальных искажений. Простейшим являются МФ на двухсторонней печатной плате. Конфигурация такого МФ образуется за счет двух вырезов в опорной плоскости обычной копланарной линии. Ранее, экспериментально показано, что два таких выреза позволяют ослабить распространяющееся вдоль линии СКИ. Однако, большего ослабления можно добиться, добавив два пассивных проводника к исходной конфигурации МФ на ДПП так, что образуется МФ с лицевой и боковой связями. Ранее была выполнена оптимизация такого МФ, а в работе [3] показано влияние удаление одного и двух пассивных проводников. При рассмотренных параметрах наибольшее затухание СКИ было достигнуто в МФ без верхнего пассивного проводника. Однако оптимизация такого МФ ранее не проводилась.

Таким образом, была проведена параметрическая оптимизация путем эвристического поиска МФ на ДПП с лицевыми и боковыми связями без верхнего пассивного проводника.

Оптимизировались ширина активных и пассивных проводников (w1) от 400 до 1000 мкм и s1 (расстояние между ними) от 100 до 1000 мкм при h=0,5 мм (толщина диэлектрика), t=35 мкм (толщина фольги), s2= 3000 мкм (расстояние между опорным и сигнальным проводниками) и w2=500 мкм (ширина опорного проводника). На вход МФ подавался импульс амплитудой 1 В и длительностью 150 пс. Таким образом, при w1=450 мкм и s1=110 мкм достигнута максимизация погонных задержек импульсов мод и выравнивание амплитуд двух импульсов. Ослабление составило 3,3 раза (Umax=0,329 В) по отношению к половине э.д.с. Для оптимизированных параметров приведены результаты ослабления при изменении граничных условий на концах всех пассивных проводников на короткое замыкание (КЗ)-холостой ход (ХХ) и ХХ-КЗ, а ослабление составило 4 раза.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90033.

1. Interaction of high power electromagnetic pulses with power cables and electronic systems / R. Kichouliya, M.J. Thomas // IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Ottawa, Canada. 25–29 July, 2016. P. 159–163.

2. Time-domain response of asymmetrical modal filter without resistors to ultrashort pulse excitation // A.T. Gazizov, A.M. Zabolotsky, T.T. Gazizov // 17th International conference on micro/nanotechnologies and electron devices. Erlagol, Russia. 30 June–4 July, 2016. P. 85–88.

3. Samoylichenko M. A. Modal filters for protection against ultrashort pulses: a study of the possibilities of effective use in double-sided printed circuit boards. Systems of Control, Communication and Security, 2021, no. 4, pp. 58-71.

Optimization of a modal filter on a double-sided PCB with broad side and edge coupling without an upper passive conductor

Samoylichenko M.A.
TUSUR, Tomsk, Russia

Radioelectronic equipment is developing towards the creation of increasingly complex technical means and miniaturization of not only electronic components, but also of the products where these components are used. As a consequence, equipment is becoming more susceptible to electromagnetic interference. For critical equipment, including onboard equipment of spacecraft (SC), even short-term failures are unacceptable, which can lead to loss of information, errors in computing algorithms, as well as loss of control. Particularly dangerous are ultrashort pulses (USP), which can lead to functional failure or functional damage [1].

Increasingly, strip and microstrip lines are used as protective devices. Thus, modal filters (MF) based on them are investigated [2]. In such protection devices attenuation of USP occurs due to modal distortions. A simple one is the MF on a double-sided printed circuit board (PCB). The configuration of such a MF is formed by notches in the reference plane of the usual coplanar line. Thus, it has been experimentally shown that two such cuts allow to attenuate the USPpropagating along the line. More attenuation can be achieved by adding two passive conductors to the original MF configuration on a double-sided PCB so that an MF with broad side and edge coupling.The optimization of such an MF was performed previously, and in [3] the effect of removing one and two passive conductors was investigated. With the considered parameters, the highest attenuation of the USP was achieved in the MF without the left bottom passive conductor. However, optimization of such a MF has not been performed before.

Thus, a parametric optimization was performed by heuristic search of the MF on a double-sided PCB with broad side and edge coupling without an upper passive conductor are presented.

The width of active and passive conductors (w1) from 400 to 1000 μm and s1 (distance between them) from 100 to 1000 μm were optimized at h=0.5 mm (dielectric thickness), t=35 μm (foil thickness), s2=3000 μm (distance between reference and signal conductors) and w2=500 μm (reference conductor width). A pulse with an amplitude of 1 V and a total duration of 150 ps was applied to the MF input. Thus, at w1=450 μm and s1=110 μm the maximum and minimum pulse delays are maximized, as well as the alignment of the amplitudes of the two pulses. The attenuation was 3.3 times (Umax=0.329 V) with respect to half of e.m.f. For the highest parameters, we present the attenuation results when changing the boundary conditions at the ends of all passive conductors for short-circuit (SC)-open-circuit (OC) and OC-SC attenuation was 4 times.

The reported study was funded by RFBR, project number 20-37-90033.

1. Interaction of high power electromagnetic pulses with power cables and electronic systems / R. Kichouliya, M.J. Thomas // IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. – Ottawa, Canada. 25–29 July, 2016. – P. 159–163.

2. Time-domain response of asymmetrical modal filter without resistors to ultrashort pulse excitation // A.T. Gazizov, A.M. Zabolotsky, T.T. Gazizov // 17th International conference on micro/nanotechnologies and electron devices. – Erlagol, Russia. 30 June–4 July, 2016. – P. 85–88.

3. Samoylichenko M. A. Modal filters for protection against ultrashort pulses: a study of the possibilities of effective use in double-sided printed circuit boards. Systems of Control, Communication and Security, 2021, no. 4, pp. 58-71.

Разработка системы управления макетом летательного аппарата с применением сенсоров

Симонов В.Л., Мякотина С.К., Гурский Г.И., Малькова А.О.
МАИ, г. Москва, Россия

При изучении дисциплин профессионального цикла направления подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах» является важным получение студентами практических навыков разработки реальных устройств [1].

Одним из перспективных проектов является разработка системы управления макетом летательного аппарата. Основными функциями здесь являются разворот по азимуту при автоматическом наведении на объект – источник света; измерение дистанции до объекта. Используемая система сенсоров – фотоэлектрический сенсорный блок; ультразвуковые и инфракрасные дальномеры. Исполнительное устройство – серводвигатель. На первом этапе студентами используется САПР. Далее, в реальном конструировании, решаются практические проблемы: неустойчивость работы измерителей дистанции (шумы, выбросы), и ряд других. Пути решения здесь: экранирование проводников измерительного тракта; в программной части применены цифровые фильтры: медианный и «бегущее среднее» [2]. В итоге существенно снижена ошибка измерений и уменьшены выбросы.

Студентами получены навыки разработки аппаратно-программных средств: осуществлены сборка сенсоров на модели ЛА; разработка оптического сенсорного блока (фоторезисторы); отладка функционирования системы управления. Указанное отвечает следующим компетенциям СУОС МАИ по направлению подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах» [3]:

• ПК-7 Готовность разрабатывать проектную документацию в соответствии с имеющимися стандартами;

• ПК-10 Готовность к участию в работах по изготовлению, отладке и сдаче в эксплуатацию средств автоматизации и управления;

• ПК-11 Готовность организовать метрологическое обеспечение производства средств автоматизации и управления.

Литература:

1. Виноградов Д.А., Воденников А.В., Кошеварова Н.А., Симонов В.Л., Юров Н.Н. Преподавание основ электроники и робототехники при изучении ряда дисциплин профессионального цикла. В книге: 15-я Международная конференция "Авиация и космонавтика". 2016. С. 469-470.

2. Фильтрация сигналов. AlexGyver Technologies. [Электронный ресурс] // URL: https://alexgyver.ru/lessons/filters/ (дата обращения: 10.03.2022).

3. Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт Московского авиационного института по направлению подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах» (уровень бакалавриат) // URL: https://files.mai.ru/site/sveden/EduStandartDoc/suos/bach/27.03.04.pdf?referer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (дата обращения: 10.03.2022).

Development of an aircraft layout control system using sensors

Simonov V.L., Myakotina S.K., Gursky G.I., Malkova A.O.
MAI, Moscow, Russia

When studying the disciplines of the professional cycle of the direction of training 27.03.04 "Control in technical systems", it is important for students to acquire practical skills in the development of real devices [1].

One of the promising projects is the development of an aircraft layout control system. The main functions here are a turn in azimuth with automatic aiming at an object – a light source; measuring

the distance to an object. The sensor system used is a photoelectric sensor unit; ultrasonic and infrared rangefinders. The actuating device is a servomotor. At the first stage, students use CAD. Further, in real design, practical problems are solved: the instability of the distance meters (noise, emissions), and some others. Solutions here: shielding electric wires of the measuring path; in the software part digital filters are applied: median and "running average" [2]. As a result, the measurement error is significantly reduced and emissions are reduced as well.

Students have acquired the skills of developing hardware and software: sensors were assembled on an aircraft model; development of an optical sensor unit (photoresistors); debugging the functioning of the control system. The specified corresponds to the following competencies of the MAI educational standard in the direction of training 27.03.04 "Control in technical systems" [3]:

• PC-7 Willingness to develop project documentation in accordance with existing standards;

• PC-10 Willingness to participate in the manufacture, debugging and commissioning of automation and control equipment;

• PC-11 Willingness to organize metrological support for the production of automation and control equipment.

References:

1. Vinogradov D.A., Vodennikov A.V., Koshevarova N.A., Simonov V.L., Yurov N.N. Teaching the basics of electronics and robotics in the study of a number of disciplines of the professional cycle. In the book: 15th International Conference "Aviation and Cosmonautics". 2016. Pp. 469-470.

2. Signal filtering. AlexGyver Technologies. [Electronic resource] // URL: https://alexgyver.ru/lessons/filters/ (accessed: 03/10/2022).

3. Self-established educational standard of the Moscow Aviation Institute in the direction of training 27.03.04 "Control in technical systems" (bachelor's level) // URL: https://files.mai.ru/site/sveden/EduStandartDoc/suos/bach/27.03 .04.pdf?referer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (accessed 03/10/2022).

Метод сокращения сроков разработки функциональных тестов для СБИС СОЗУ

[1]Смирнов К.К., [2]Блинов В.В., [1]Назаров А.В.

[1]МАИ, [2]ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, г. Москва, Россия

В докладе рассмотрены особенности применения DSR-операторов (Digital Signal Regular Expression) при разработке сложных функциональных тестов для проверки сверхбольших интегральных схем (СБИС), реализующих функцию сверхоперативных запоминающих устройств (СОЗУ) [1], широко применяемых в авиационной и космической электронной аппаратуре. Предлагаемый в докладе метод позволяет построить функциональный тест, обладающий при минимальном его объёме и времени выполнения, достаточной полнотой тестирования. Показано, что в результате применения такого теста на практике резко повышается производительность функционального тестирования СБИС при значительном сокращении времени самого тестирования [2]. Дело в том, что время прохождения теста пропорционально числу циклов обращения к тестируемой СБИС, выраженному через информационную ёмкость СОЗУ, которая может превышать внутреннюю канальную память тестирующего оборудования. Предложенный метод, обеспечивая компактность теста, позволяет сократить до минимума число циклов межмодульного обмена данными и, как результат, на порядок и более уменьшить время необходимых проверок. Так, разработчик может задавать задержки в тестовых циклах, указывать диапазоны прохождения ячеек на каждом шаге.

1. Резниченко Н., Александров А. Функциональное управление интегрированной микросхемой. - М: Молодой ученый, 2016, № 21, с. 201-204.

2. Немудров В., Мартин Г. Системы на кристалле. Дизайн и развитие. - М: Техносфера, № 3, 2004, с. 40-44.

3. Шагурин И., Шалтырев А., Волов А. Большие ПЛИС как элементарная основа для реализации системы в кристалле // Электронные компоненты, 2006, №5, с. 83-88.

Method for reducing the development time of functional tests for VLSI SRAM

[1]Smirnov K.K., [2]Blinov V.V., [1]Nazarov A.V.
[1]MAI, [2]Federal Scientific Center SRISA RAS, Moscow, Russia

The report discusses the features of the use of DSR-operators (Digital Signal Regular Expression) in the development of complex functional tests for testing very large-scale integrated circuits (VLSI) that implement the function of super-rapid memory (SRAM) [1], which are widely used in aviation and space electronic equipment. The method proposed in the report makes it possible to build a functional test that, with its minimum volume and execution time, has sufficient testing completeness. It is shown that as a result of the application of such a test in practice, the productivity of VLSI functional testing increases sharply with a significant reduction in the testing time [2]. The fact is that the test passing time is proportional to the number of access cycles to the tested VLSI, expressed through the information capacity of the SRAM, which can exceed the internal channel memory of the testing equipment. The proposed method, ensuring the compactness of the test, allows to reduce to a minimum the number of cycles of intermodule data exchange and, as a result, to reduce the time of necessary checks by an order of magnitude or more. So, the developer can set delays in test cycles, indicate the ranges of cells passing at each step.

1. Reznichenko N., Aleksandrov A. Functional control of an integrated microcircuit. - M: Young scientist, 2016, No. 21, p. 201-204.

2. Nemudrov V., Martin G. Systems on a crystal. Design and development. - M: Technosphere, No. 3, 2004, p. 40-44.

3. Shagurin I., Shaltyrev A., Volov A. Large FPGAs as an elementary basis for the implementation of a system in a crystal // Electronic components, 2006, No. 5, p. 83-88.

Система анализа и оценки распределённых вычислительных систем

Трофимов М.А.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время Распределённые Вычислительные Системы (далее РВС) приобрели широкое распространение в отрасли, однако при их разработке процессы отладки и сопровождения стали более трудоёмкими, чем при разработке обычных систем: диагностическая информация распределена, количество вычислительных узлов может изменяться и вычисления происходят в разных вычислительных узлах. Поэтому, для упрощения данных процессов было принято решение спроектировать систему для анализа и оценки производительности в РВС.

Помимо очевидных требований, таких как сбор и анализ метрик, были определены такие требования, как возможность построения архитектурного ландшафта и отслеживание зависимости между компонентами РВС.

За основные метрики были приняты частота запросов к сервису, время, потраченные на обработку запроса и сетевые издержки, интенсивности отказов и восстановления, коэффициент готовности сервиса, частота отказов и время недоступности. А за сновные методы анализа были взяты методы поиска аномалий и обнаружение зависимостей между последовательными цепочками запросов сервисов.

Был разработан прототип системы, который был способен:

- Собирать информацию о синхронном взаимодействии сервисов через gRPC;
- Получать и визуализировать собранные метрики;
- Строить архитектурный ландшафт отслеживаемой системы.

Так же был разработан тестовый программный продукт, который представлял из себя модель интернет магазина, подразумевающую наличия трёх типов источников запросов: покупатель, администратор и сервис подкачки товаров со сторонних источников. Вся система была собрана в отдельные контейнеры для имитации распределённости.

По результатам тестирования система продемонстрировала свою работоспособность, однако был обнаружен недочёт в проектирование архитектуры системы, который уменьшал производительность отслеживаемой системы.

В завершении работы были сформулированы планы на устранение недостатков системы и развитие её функционала.

System for analyzing and evaluating performance distributed computing systems

Trofimov M.A.
MAI, Moscow, Russia

Currently, Distributed Computing Systems (hereinafter referred to as DCS) have become widespread in the industry, however, during their development, debugging and maintenance processes have become more time-consuming than when developing conventional systems: diagnostic information is distributed, the number of computing nodes can vary and calculations take place in different computing nodes. Therefore, in order to simplify these processes, it was decided to design a system for analyzing and evaluating performance in DCS.

In addition to the obvious requirements, such as the collection and analysis of metrics, requirements such as the ability to build an architectural landscape and tracking the dependencies between the components of the DCS were identified.

The main metrics were the frequency of requests to the service, the time spent on processing the request and network costs, the failure rate and recovery, the service availability coefficient, the failure rate and the time of unavailability. And the methods of anomaly search and detection of dependencies between successive chains of service requests were taken as new methods of analysis.

A prototype of the system was developed that was able to:

- Collect information about synchronous interaction of services via gRPC;
- Get and visualize collected metrics;
- Build the architectural landscape of the monitored system.

A test software product was also developed, which was a model of an online store, implying the presence of three types of request sources: a buyer, an administrator and a service for adding goods from third-party sources. The entire system was assembled into separate containers to simulate distribution.

According to the test results, the system demonstrated its operability, however, a flaw was discovered in the design of the system architecture, which reduced the performance of the monitored system.

At the end of the work, plans were formulated to eliminate the flaws of the system and develop its additional functionality.

Системы сбора и анализа данных с датчиков промышленного оборудования на платформе «1С: Предприятие 8»

Углицких В.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Common Information Model (CIM) – это объектно-ориентированная модель данных, которая используется для описания и содержания различной информации предприятия. Зачастую модель CIM описывают так: нулевой уровень включает в себя датчики и само оборудование, первый уровень включает в себя числовое программное управление, на втором уровне происходит реализация операций. Далее используется система планирования производственных операций и их контроля с помощью MES. На последнем уровне находится бизнес-планирование и KPI. Чаще всего первый и второй уровни разорваны, поэтому решением проблемы может выступать OPC-сервер.

Практическая часть заключается в подключении датчиков к оборудованию. Чаще всего в сложных системах управления производством имеется встроенный OPC-сервер, при подключении к нему можно получить все необходимые данные. Если сервера нет, тогда нужно самостоятельно установить датчики и создать COM-порт, с помощью которого происходит получение информации в MES-систему для построения дашбордов и анализа данных. Аналогом может выступить техническая база 1С или основная MES-система.

Далее необходимо реализовать OMP (OMPARTNERS) для использования универсальной концепции: один датчик плюс одна кнопка. Кнопка означает переход с одной номенклатуры

на другую. Рассмотрим линию на примере гофропроизводства. С одного датчика можно получить информацию о количестве ровных листов гофрокартона, которое пришло на линию, расходе заготовок, браке заготовок, количестве сданной продукции на склад и браке продукции. Также датчик позволит и провести расчет по временным показателям: время производства, скорость производства, время переналадки и время остановов. Как итог - если машина простаивает из-за ряда факторов примерно 40% времени, то при установке датчика получится сократить простой на 20%.

Systems for collecting and analyzing data from industrial equipment sensors on the 1C: Enterprise 8 platform

Uglitskikh V.A.
MAI, Moscow, Russia

The Common Information Model (CIM) is an object-oriented data model that is used to describe and contain various enterprise information. Often, the CIM model is described as follows: the zero level includes sensors and the equipment itself, the first level includes numerical control, and the implementation of operations occurs at the second level. Next, a system for planning production operations and their control using MES is used. At the last level is business planning and KPI. Most often, the first and second levels are broken, so the OPC server can act as a solution to the problem.

The practical part is to connect the sensors to the equipment. Most often, complex production control systems have a built-in OPC-server, when connected to it, you can get all the necessary data. If there is no server, then you need to install the sensors yourself and create a COM port, through which information is received into the MES system for building dashboards and data analysis. The technical base of 1C or the main MES system can act as an analogue.

Next, you need to implement OMP (OMPARTNERS) to use the universal concept: one sensor plus one button. The button means the transition from one nomenclature to another. Consider the line on the example of corrugated production. From one sensor, you can get information about the number of even sheets of corrugated cardboard that came to the line, the consumption of blanks, the rejection of blanks, the number of products delivered to the warehouse and the rejection of products. Also, the sensor will allow you to calculate according to time indicators: production time, production speed, changeover time and stop time. As a result, if the machine is idle due to a number of factors for about 40% of the time, then when installing the sensor, it will be possible to reduce downtime by 20%.

Разработка программного обеспечения работы в системе Интернет для наладки оборудования предприятий авиадвигателестроения в удаленном режиме

Ушияров Т.И.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Непрерывное совершенствование конструкции газотурбинного двигателя (ГТД) с целью обеспечения большей его тяговой способности требует разработки новых, более совершенных конструктивных материалов и применения для изготовления деталей, входящих в его состав, наиболее прогрессивных, высокотехнологичных и наукоемких технологий.

Целью работы является разработка программного продукта для обеспечения процессов наладки технологического оборудования авиадвигателестроения через систему ИНТЕРНЕТ. Достижение поставленной цели обеспечивает повышение эффективности работы технолога-наладчика за счет оперативного доступа к налаживаемому оборудованию без его физического перемещения на предприятие-изготовитель.

Повышение эффективности обеспечивается:

• Исключением времени поездки наладчика на предприятие-изготовитель;

• Исключением затрат на содержание наладчика вне его основного места работы;

• Улучшением его психологического комфорта, что положительно сказывается на продуктивности его работы;

• Снижением времени наладочных работ вследствие оперативного доступа к документации, необходимость которой выявляется в ходе проведения наладочных работ;

• Возможностью оперативного получения консультативной помощи коллектива предприятия, проводящего наладочные работы.

Программное обеспечение включает в себя работу с видеооборудованием в реальном масштабе времени, организацию видеоконференции с работниками предприятия, обслуживающих налаживаемое оборудование, создание баз данных о типовых ошибках и методов их устранения и т.д.

Внедрение предлагаемой работы существенно увеличивает качество пусконаладочных работ нового оборудования.

В результате выполнения работы получена возможность внедрения удаленной пусконаладки оборудования по средствам системы Интернет для технологического процесса электрохимической обработки блисков на комплексе ЭХК-МК в действующие технологические процессы с целью повышения экономической эффективности производства перспективных блисков.

Development of software for working in the Internet system for adjusting the equipment of aircraft engine building enterprises in a remote mode

Ushiyarov T.I.

BMSTU, Moscow, Russia

Continuous improvement of the design of a gas turbine engine (GTE) in order to ensure its greater traction capacity requires the development of new, more advanced structural materials and the use of the most progressive, high-tech and science-intensive technologies for the manufacture of parts included in its composition.

The aim of the work is to develop a software product to ensure the processes of adjustment of technological equipment for aircraft engine building through the INTERNET system. Achieving this goal ensures an increase in the efficiency of the adjusting technologist due to prompt access to the equipment being adjusted without its physical transfer to the manufacturing enterprise.

Efficiency increase is provided by:

• Except for the travel time of the adjuster to the manufacturer;

• Exclusion of costs for the maintenance of the adjuster outside his main place of work;

• Improvement of his psychological comfort, which has a positive effect on the productivity of his work;

• Reduction of adjustment work time due to prompt access to documentation, the need for which is revealed during adjustment work;

• The possibility of promptly obtaining advisory assistance from the staff of the enterprise conducting adjustment work.

The software includes working with video equipment in real time, organizing a video conference with employees of the enterprise servicing equipment being adjusted, creating databases of typical errors and methods for their elimination, etc.

Implementation of the proposed work significantly increases the quality of commissioning of new equipment.

As a result of the work, the possibility of introducing remote commissioning of equipment using the Internet system for the technological process of electrochemical processing of blisks at the ECC-MK complex into existing technological processes was obtained in order to increase the economic efficiency of the production of promising blisks.

Реализация предиктивного подхода к управлению безопасностью полетов на основе Байесовских сетей доверия

Хаустов А.А.

Авиакомпания «Россия», г. Москва, Россия

Современные российские требования предусматривают внедрение и развитие поставщиками авиационных услуг (ПАУ) Систем управления безопасностью полетов (СУБП). К ПАУ относятся разработчики и изготовители гражданских воздушных судов (ВС), эксплуатанты ВС, организации по техническому обслуживанию, поставщики услуг,

осуществляющих аэронавигационное обслуживание полетов ВС, авиационные учебные центры и операторы сертифицированных аэродромов.

В рамках СУБП определены три управленческие методологии: реактивная, проактивная и предиктивная. Реагирующая методология предполагает сбор данных о БП на основе отчетов и материалов расследований авиационных происшествий (АП) и авиационных инцидентов (АИ), которые произошли в прошлом, и предполагает извлечение уроков из их результатов. Проактивная методология предполагает использовать системы предоставления сообщений о БП и показатели SPI для сбора данных о БП с целью выявления факторов опасности (ФО), которые могут привести к АП и АИ, и минимизации связанных с ними рисков для БП.

Предиктивная методология предполагает обнаружение потенциальных ФО на основе предиктивного анализа (или прогнозов), позволяющего извлекать информацию из накопленных в прошлом и собираемых в настоящем данных о БП и применять ее для предсказания трендов и механизмов возникновения ФО.

Одним из направлений предиктивного анализа является построение каузальных (или причинно – следственных) моделей [1]. В работе [2] обсуждается возможность практического построения каузальных моделей риска для БП на основе Байесовских сетей доверия (БСД). БСД упрощенно можно определить как графические структуры для предоставления вероятностных отношений между большим количеством переменных и для осуществления вероятностного вывода на основе этих переменных [3].

В качестве исходных данных для построения модели риска в области БП на основе БСД используются результаты расследований АП и АИ. Выявление ФО, связанных с деятельностью ПАУ и построение ациклического направленного графа происходит на этапе первоначального анализа исходных данных.

В работе показана возможность разработки по результатам анализа АП/АИ модели риска для БП на основе БСД, объединяющей результаты выявления ФО, оценки риска для БП и расчета значений показателей эффективности обеспечения БП.

Предлагаемая модель оценки рисков lдля БП на основе БСД базируется на фиксации взаимосвязей между переменными, известными по результатам анализа произошедших авиационных событий в задаваемом секторе гражданской авиации Российской Федерации и может быть использована для прогнозирования развития ФО, выявляемых в деятельности ПАУ, а также идентификации возникающих проблем обеспечения БП и тенденций их развития. Следовательно, реализуется предиктивный подход к управлению БП ПАУ.

Для упрощения решения обсуждаемой задачи использован инструмент моделирования рисков для БП на основе БСД в MATLAB, позволяющим выполнять необходимые расчеты автоматически после изначального определения сети.

1. Андерсон К. Аналитическая культура. От сбора данных до бизнес-результатов. — М. : Манн, Иванов и Фербер, 2017. — 336 с.

2. Рухлинский В.М., Хаустов А.А., Молотовник А.С. Оценка риска в области безопасности полетов на основе байесовской сети доверия // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2017. Т. 20. № 3. С. 76-89.

3. Тулупьев А. Л., Николенко С. И., Сироткин А. В. Байесовские сети: Логико-вероятностный подход. — СПб.: Наука, 2006. — 607 с.

Implementation of Predictive Approach to Safety Management Based on Bayesian Belief Networks

Khaustov A.A.

Rossiya airlines, Moscow, Russia

Modern Russian requirements provide for the implementation and development of Aviation Service Providers (ASPs) of Safety Management Systems (SMS). ASPs include civil aircraft (AC) designers and manufacturers, aircraft operators, maintenance organizations, service providers providing air navigation services for aircraft flights, aviation training centers and operators of certified aerodromes.

Within the SMS, three management methodologies are defined: reactive, proactive and predictive. The reactive methodology involves the collection of safety data based on the reports and materials of investigations of aircraft accidents (AA) and aviation incidents (AI) that have occurred in the past, and involves learning from their results. A proactive methodology involves the use of safety reporting systems and SPI to collect safety data in order to identify hazards that can lead to AA and AI, and minimize the associated safety risks.

The predictive methodology involves the detection of potential and possible hazards based on predictive analysis (or forecasts), which makes it possible to extract information from past and currently collected safety data and apply it to predict trends and mechanisms for the occurrence of hazards.

One of the areas of predictive analysis is the construction of causal (or cause-and-effect) models [1]. The paper [2] discusses the possibility of practical construction of causal safety risk models based on Bayesian Belief Networks (BBNs). BBN can be simplistically defined as graphical structures for providing probabilistic relationships between a large number of variables and for performing probabilistic inference based on these variables [3].

The results of AA and AI investigations with aircraft in the civil aviation of the Russian Federation are used as input data for building a safety risk model based on the BBN. The identification of hazards associated with the activities of ASPs and the construction of an acyclic directed graph occurs at the stage of initial analysis of the initial data.

The paper shows the possibility of developing, based on the results of processing and analyzing data on AA / AI, a safety risk model based on the BBN, which combines the results of identifying the hazards, assessing the safety risk, and calculating the values of the SPI.

The proposed model for assessing safety risk based on the BBN is based on fixing the relationships between variables known from the results of the analysis of aviation events that have occurred in a given civil aviation sector of the Russian Federation and can be used to predict the development of hazards identified in the activities of ASP, as well as identify emerging safety issues and trends in their development. Therefore, a predictive approach to the management of ASP safety is implemented.

To simplify the solution of the problem under discussion, a tool for modeling safety risks based on the BBN in MATLAB was used, which allows you to perform the necessary calculations automatically after the initial definition of the network.

Непрерывный мониторинг состояния человека по его дыханию на основе ИК спектроскопии с применением элементов машинного обучения

Хисаметдинов И.М., Давыдов С.А.
МАИ, г. Москва, Россия

За один выдох человек выделяет более 3400 различных летучих химических соединений, часть из которых являются биомаркерами различных заболеваний, которые могут быть использованы в качестве предикторов. Наличие некоторых биомаркеров может свидетельствовать о патологических процессах в организме, и коррелировать с заболеваниями, такими как диабет, воспаления или онкология.

Инфракрасная абсорбционная спектроскопия является одним из способов анализа выдыхаемого воздуха. При прохождении излучения через химическое соединение, часть излучения поглощается и на основе падения его интенсивности можно проводить анализ состава исследуемого соединения. Анализ выдоха – неинвазивный метод, поэтому он безопаснее и быстрее, по сравнению с забором крови. Медицинские газовые анализаторы, представленные на рынке, являются крупными устройствами с габаритами, превышающими 500x500мм.

В работе была доказана работоспособность устройства непрерывного определения концентрации химических компонентов в выдыхаемом воздухе, с возможностью получения информации о пациенте, без вводных параметров (Возраст, пол, вес, физическая активность), на основе методов инфракрасной абсорбционной спектроскопии. Исследования проводились на компактном прототипе устройстве, с источником ИК излучения 1-12μm и

четырёхканального пироэлектрического приёмника, общие габариты всего прототипа не превышает 300x200мм. Для пост-обработки результатов анализа использовалось машинное обучение, основанного на принципах «решающих деревьев». На основе данных 30 человек система смогла определить гипервентиляцию лёгких и физическую активность выборочной группы из 5 человек из той же возрастной и социальной группы.

Continuous monitoring of a person's breathing condition based on IR spectroscopy using machine-learning elements

Khisametdinov I.M., Davydov S.A.
MAI, Moscow, Russia

In one exhalation, humans emit more than 3,400 different volatile chemical compounds, some of which are biomarkers of various diseases and can be used as predictors. The presence of certain biomarkers can indicate pathological processes occurring in the body, such as diabetes, inflammation or cancer. Also in conditions of increased workload and work in extreme conditions, express monitoring of the human condition will reduce and prevent potential losses arising from a lack of awareness of the patient's condition.

One of the available methods of disease detection is IR absorption spectroscopy, the principle of which is based on the ability of chemical compounds to absorb part of the emitted IR radiation of a certain wavelength. IR spectroscopy allows the analysis of exhaled breath or blood, which may contain biomarkers. Exhalation analysis is a non-invasive method of research, i.e. does not require destruction of the integrity of the skin or contact with the mucosa, so this method is significantly safer and faster compared to blood sampling.

Modern respiratory gas analyzers are large devices that require specialized personnel and special working conditions. The market for medical gas analyzers is growing and new devices and methodologies are emerging, but the development process is limited by complexities such as the cost of scientific development, the length of research, and the challenges of certification.

In this work we proved the operability of the method of continuous determination of concentration of chemical components in exhaled air on the basis of IR absorption spectroscopy methods. Machine learning methods based on the principles of "decision trees" were used for post-processing of the data.

Анализ деформации печатных плат с помощью алгоритмов компьютерного зрения

Хомутская О.В., Копылов Д.А., Карпунова А.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Одно из главных требований, предъявляемых к авиационной и ракетно-космической технике – массогабаритные показатели аппаратуры. С целью удовлетворения этого требования многослойные печатные платы (МПП) постоянно усложняются, увеличивается плотность соединений. Это приводит к проблеме пространственного совмещения контактных площадок слоев в трансверсальном направлении. Рассовмещение, вызванное деформацией материала подложки и погрешностями технологического характера, вызывает снижение физической надежности МПП, что недопустимо в авиационной и другой аппаратуре ответственного назначения. Неравномерность деформации слоев МПП приводят к их короблению и недопустимому отклонению от плоскостности.

В свою очередь широкое распространение в современных системах получили подходы, использующие искусственный интеллект или нейросети. Такой подход позволяет находить и учитывать сложные нелинейные зависимости, анализировать изображения или файлы проектирования.

Целью данной работы является исследование возможности применения современных алгоритмов на основе нейросетей к анализу деформации МПП.

Отклонения от плоскостности в виде коробления или скручивания – распространенный дефект, создающий серьезные проблемы при сборке и монтаже печатных узлов на автоматических линиях. После успешной сборки коробленой платы во время ее закрепления в изделии она выпрямляется в плоскость, за счет этого в паяных соединениях возникают

напряженности, которые могут привести к травмированию и разрушению паек или внутренних межсоединений в МПП.

Коробление относится к многофакторному явлению и требует комплексного подхода, по устранению следу-ющих причин этого явления: несимметричность конструкции; некачественный материал; отсутствие термооб-работки стеклотекстолита; неправильное хранение материала; релаксация внутренних напряжений; усадочные явления при полимеризации связующего; разница в температурных коэффициентов расширения материалов; неоднородная сборка пакета слоев; несимметричная фиксация заготовок в пресс-форме; необоснованная толщина диэлектрика; неправильная ориентация направлений тканей; недостаточно отработанный процесс прессования; наличие «горячих точек» при пайке, в которых температура может приближаться к температуре разло-жения.

Предлагается исследовать деформацию печатных плат с учетом топологии слоя, конструкции МПП, толщин основы и фольги базового материала, температурного коэффициента расширения, структуры материалов и анизотропности стеклоткани. Прогнозирование деформации предлагается делать, основываясь на результатах применения современных систем компьютерного зрения и моделей регрессии, применяя как по отдельности данные методы, так и различные их комбинации.

Практическое применение систем на основе нейросетей предполагает под собой замену существующего на сегодняшний день процесса вычисления масштабных коэффициентов фотошаблонов путём тестового прогона МПП с последующим её вскрытием и измерениями линейных размеров на специализированном оборудовании.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-582.2022.4).

Printed circuit boards deformation analysis with computer vision algorithms

Khomutskaya O.V., Kopylov D.A., Karpunova A.S.
MAI, Moscow, Russia

One of the main requirements for aviation and rocket and space technology is the weight and size indicators of the equipment. In order to meet this requirement, multilayer printed circuit boards (MPP) are constantly becoming more complex, the density of connections is increasing. This leads to the problem of spatial alignment of the contact pads of the layers in the transversal direction. The misalignment caused by the deformation of the substrate material and technological errors causes a decrease in the physical reliability of the MPP, which is unacceptable in aviation and other equipment of responsible purpose. The uneven deformation of the MPP layers leads to their warping and unacceptable deviation from flatness.

In turn, approaches using artificial intelligence or neural networks have become widespread in modern systems. This approach allows you to find and take into account complex nonlinear dependencies, analyze images or design files.

The purpose of this work is to investigate the possibility of applying modern algorithms based on neural networks to the analysis of MPP deformation.

Deviations from flatness in the form of warping or twisting are a common defect that creates serious problems during the assembly and installation of printed components on automatic lines. After successful assembly of the warped board, during its fixing in the product, it straightens into a plane, due to this, tensions arise in the solder joints, which can lead to injury and destruction of the rations or internal interconnects in the MPP.

Warping refers to a multifactorial phenomenon and requires an integrated approach to eliminate the following causes of this phenomenon: asymmetry of the structure; poor-quality material; lack of heat treatment of fiberglass; improper storage of the material; relaxation of internal stresses; shrinkage phenomena during polymerization of the binder; difference in temperature coefficients of expansion of materials; heterogeneous assembly of a package of layers; asymmetric fixation of workpieces in the mold; unreasonable thickness of the dielectric; incorrect orientation of the directions of the tissues; insufficiently developed pressing process; the presence of "hot spots" during soldering, in which the temperature may approach the breaking temperature.

It is proposed to investigate the deformation of printed circuit boards taking into account the topology of the layer, the design of the MPP, the thickness of the base and foil of the base material, the temperature coefficient of expansion, the structure of materials and the anisotropy of fiberglass. The deformation prediction is proposed to be done based on the results of the use of modern computer vision systems and regression models, using both these methods individually and their various combinations.

The practical application of systems based on neural networks involves the replacement of the process of calculating the scale coefficients of photomasks existing today by a test run of the MPP, followed by its opening and measurements of linear dimensions on specialized equipment.

The work was carried out within the framework of the grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists - Candidates of Sciences
(MK-582.2022.4).

Гибридный фильтр для защиты цепей питания бортового радиоэлектронного оборудования

Храмцов М.В., Заболоцкий А.М.
ТУСУР, г. Томск, Россия

Современное бортовое радиоэлектронное оборудование (БРЭО) восприимчиво к влиянию кондуктивных помех. Традиционным устройством защиты является помехоподавляющий фильтр (ППФ), но это устройство имеет недостатки такие как паразитные параметры и узкий диапазон рабочих частот [1, 2]. Поэтому ППФ не всегда имеют приемлемые характеристики в области высоких частот. Таким образом актуальна разработка нового гибридного фильтра (ГФ), которое надежно защитит БРЭО от кондуктивных помех в широком диапазоне частот.

При исследовании ГФ предполагается совместное включение ППФ и модального фильтра (МФ) [3]. Использован МФ со следующими параметрами: Толщина подложки h = 0,79 мм, а ее диэлектрическая проницаемость εr = 4,5. Ширина всех проводников одинакова w = 5,5 мм, толщина проводников t = 0,105 мм, расстояние между проводниками s = 2 мм. В свою очередь в ППФ для защиты от помех в синфазном режиме применяются синфазный дроссель 140 мкГн включаемый в разрыв прямого и обратного проводников и конденсаторы 33 нФ связывающие прямой и обратный проводники с заземлением, а для подавления дифференциальных помех – дроссели 1050 мкГн один из которых включается в разрыв прямого проводника, а другой в разрыв обратного проводника и конденсаторы 66 нФ связывающие прямой и обратный проводники между собой.

Выполнено экспериментальное исследование зависимости модуля коэффициента передачи от частоты |S21| в диапазоне от 10 до 3000 МГц и прохождение сверхкороткого импульса (СКИ) для ППФ и ГФ в синфазном и дифференциальном включениях. Для ГФ в дифференциальном включении |S21| не выше -22 дБ, в синфазном включении не выше

-22,6 дБ и может доходить до -65 дБ. Для ППФ в дифференциальном включении |S21| не выше -16,4 дБ, а в синфазном включении не выше -20,6 дБ. Кроме того, для ППФ с ростом частоты наблюдаются подъемы |S21| из-за влияния паразитных параметров. При исследовании временных характеристик длительность исходного СКИ равна 700 пс по уровню 0,5, а амплитуда 8,4 В. Выявлено, что в дифференциальном режиме, ГФ ослабляет СКИ на 38,5 дБ до 100 мВ, а в синфазном включении на 42,9 дБ до 60 мВ. ППФ в дифференциальном включении ослабляет СКИ на 36,9 дБ до 120 мВ, а в синфазном включении на 30 дБ до 280 мВ. Таким образом обнаружено, что ГФ более эффективно подавляет кондуктивные помехи в широком диапазоне частот. Недостатком исследуемого устройства являются габариты, которые больше по сравнению с традиционными устройствами защиты.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2022-0001.

1. Колосов В. Устранение недопустимых воздействий на электронную аппаратуру из сетей электропитания / В. Колосов, В. Мухтарулин // Современные технологии автоматизации. - 2001. - № 2. - С. 80-89.

2. Ланцов В. Электромагнитная совместимость импульсных источников питания: проблемы и пути их решения. Часть 2 / В. Ланцов, С. Эраносян // Силовая электроника. 2007. – № 1. - С. 58-64.

3. Khazhibekov R.R. Modal filter for spacecraft busbar protection against ultrashort pulses // 20th International Conference of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices (EDM 2019), Erlagol (Russia), June 29 – July 3, 2019, P. 88–91.

Hybrid filter for protection of power supply circuits of on-board radio-electronic equipment

Khramtsov M.V., Zabolotsky A.M.

TUSUR, Tomsk, Russia

Modern on-board radio electronic equipment (avionics) is susceptible to the influence of conducted interference. The traditional protection device is a noise suppression filter (NSF), but this device has disadvantages such as parasitic parameters and a narrow operating frequency range [1, 2]. Therefore, NSF do not always have acceptable characteristics in the high frequency region. Thus, it is relevant to develop a new hybrid filter (HF), which will reliably protect avionics from conducted interference in a wide frequency range.

When studying the HF, it is assumed that the NSF and the modal filter (MF) will be combined [3]. An MF was used with the following parameters: The substrate thickness h = 0.79 mm, and its permittivity εr = 4.5. The width of all conductors is the same w = 5.5 mm, the thickness of the conductors t = 0.105 mm, the distance between the conductors s = 2 mm. In turn, in the NSF, to protect against interference in common mode, a 140 μH common mode choke is used, which is included in the break of the forward and reverse conductors and 33 nF capacitors connecting the forward and return conductors to ground, and to suppress differential interference, 1050 μH chokes, one of which is included in rupture of the forward conductor, and the other into the rupture of the return conductor and 66 nF capacitors connecting the forward and reverse conductors to each other.

An experimental study of the dependence of the modulus of the transfer coefficient on the frequency |S21| in the range from 10 to 3000 MHz and the passage of an ultrashort pulse (USP) for NSF and HF in common-mode and differential inclusions. For the HF in the differential inclusion |S21| not higher than -22 dB, in common mode not higher than -22.6 dB and can reach up to -65 dB. For the NSF in the differential inclusion |S21| not higher than -16.4 dB, and in common mode, not higher than -20.6 dB. In addition, for the NSF, as the frequency increases, rises |S21| due to the influence of parasitic parameters. In the study of temporal characteristics, the duration of the initial USP is 700 ps at a level of 0.5, and the amplitude is 8.4 V. It was found that in the differential mode, the HF attenuates the USP by 38.5 dB to 100 mV, and in the common mode by 42.9 dB to 60 mV. The NSF in the differential connection attenuates the USP by 36.9 dB to 120 mV, and in the common-mode connection by 30 dB to 280 mV. Thus, it was found that the HF suppresses conducted interference more effectively in a wide frequency range. The disadvantage of the device under study is the dimensions, which are larger compared to traditional protection devices.

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under project FEWM-2022-0001.

1. Kolosov V. Elimination of unacceptable situations on electronic equipment from networks / V. Kolosov, V. Mukhtarulin // Modern security technologies. - 2001. - № 2. - pp. 80-89.

2. Lantsov V.V. Electromagnetic compatibility of switching power supplies: problems and solutions. Part 2 / V. Lantsov, S. Eranosyan // Power electronics. 2007. - № 1. - pp. 58-64.

3. Khazhibekov R.R. Modal filter to protect spacecraft busbars from ultrashort pulses // 20th International Conference of Young Specialists in Micro/Nanotechnologies and Electronic Devices (EDM 2019), Erlagol (Russia), June 29 – July 3, 2019, pp. 88 – 91.

Особенности разработки элементов кроссплатформенного программного комплекса для формирования визуализированного представления производственных процессов

Цырков Г.А., Страхов Р.Д., Пинегин А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Цифровизация производства создает потребность в цифровой документации и средствах ее разработки. На сегодняшний день выбор среди инструментов, позволяющих производить подготовку ИЭТР (интерактивных электронных технических руководств, IETM), достаточно ограничен, особенно в области отечественных программных решений. В свою очередь, машиностроительные предприятия стремятся к оптимизации бизнес-процессов, происходящих внутри компании, что подталкивает их к поиску более рациональных и эффективных подходов на всех этапах производства, и, в том числе, на этапе технического обслуживания и ремонта (ТОиР) собственного оборудования и производимой продукции.

В рамках данного проекта, решаются задачи по разработке кроссплатформенных элементов программного комплекса, предназначенного для создания визуализированных представлений различных процессов.

В некоторых достаточно распространенных САПР (системах автоматизированного проектирования) уже имеются компоненты с похожей или даже аналогичной функциональностью, однако разрабатываемые элементы программного комплекса позволяют создать менее требовательное к ресурсам и более гибкое решение, по сравнению с системами, решающими более широкий диапазон задач.

Решение представлено в виде двух основных компонентов: клиентская часть (Miodenus UI) и серверная (Miodenus Animation Converter). Они реализуются с использованием языка программирования C# и платформы .NET Core, что обеспечивает возможность их запуска как на ОС Windows, так и на ОС, основанных на базе ядра Linux.

В рамках клиентской части Miodenus UI разрабатываются элементы графического интерфейса пользователя, позволяющие дополнить функциональность решения и упростить работу с файлами собственного протокола анимации формата .maf (Miodenus Animation File, MAF). Согласно протоколу MAF, данный файл содержит ряд блоков:

- Общая информация об анимации;
- Параметры и данные 3D-моделей;
- Операции, применяемые к моделям;
- Данные о связях операций и 3D-моделей.

Возможность кроссплатформенного использования клиентской части программного комплекса обеспечивается за счет применения упомянутых ранее технологий и пакета GTK# (обертка для открытой библиотеки GTK (GIMP ToolKit)), имеющего полный набор инструментов и компонентов, подходящих для выполнения поставленных задач.

Функции Miodenus UI:

- Создание и редактирование файла протокола анимации с использованием GUI;
- Отображение необходимой в процессе работы с программным комплексом информации (значение количества кадров в секунду, продолжительность анимации, информация о примененных к 3D-моделям действиях и т. д.);
- Обеспечение взаимодействия с серверной частью программного комплекса.

Разрабатываемое в рамках серверной части программного комплекса решение (Miodenus Animation Converter) обладает следующим функционалом:

- Преобразование входных данных (файл протокола анимации, аргументы командной строки) в итоговый видеофайл, содержащий соответствующее визуализированное представление;
- Получение конкретного кадра по номеру в виде файла изображения;
- Работа в отладочном режиме с возможностью осмотра всей 3D-сцены на любом этапе анимации.

На данный момент разработан прототип программного комплекса, реализующий минимально необходимый для создания визуализированных представлений функционал.

Работы по развитию проекта ведутся в направлении вычисления физических параметров системы.

Features of the development of elements of cross-platform software package for the formation of a visualized representation of production processes

Tsyrkov G.A., Strakhov R.D., Pinegin A.A.
MAI, Moscow, Russia

Production digitalization creates a need for digital documentation and means of its development. At the moment, the choice of tools for IETM (Interactive Electronic Technical Manuals) creation is quite limited, especially if only domestic solutions are being considered. At the same time machine-building enterprises are trying to optimize business processes within the company, which motivates them to search for more rational and effective approaches at all production stages, including the stage of maintenance and repair of their own equipment and manufactured products.

Within the project, the tasks of development of cross-platform elements for the software package designed to create visualized representations of various processes are being solved.

Some commonly used CAD (computer-aided design) systems already have components with similar functionality, but the elements developing within the project can make it possible to create a less resource-demanding and more flexible solution in comparison to systems which are able to solve a wider range of tasks.

The solution consists of two main components: the client part (Miodenus UI) and the server part (Miodenus Animation Converter). They are developed using the C# programming language and .NET Core platform, which makes it possible to run them both on OS Windows and on operating systems based on the Linux kernel.

Within the client part (Miodenus UI) of the package, to complement the solution`s functionality and simplify interactions with our own animation protocol files (.maf, Miodenus Animation File or MAF), elements of graphical user interface are being developed. According to the MAF protocol, this file contains a number of blocks:

- General information about animation;
- Parameters and data of the 3D models;
- Operations to be applied to models;
- Information about relations of operations and 3D models.

The client part`s cross-platform usage is provided by the mentioned earlier technologies and the GTK# package (it is a wrapper for the open GTK library (GIMP ToolKit)), which has a full set of tools and components suitable for solving the set tasks.

Miodenus UI functions:

- Creating and editing an animation protocol file using GUI;
- Displaying the information necessary for the process of work with the software package (the value of the FPS, the duration of the animation, information about the actions applied to 3D models, etc.);
- Providing interaction with the server part of the software package.

The solution developed within the server part of the software package (Miodenus Animation Converter) has the following functionality:

- Input data conversion (animation protocol file and command line arguments) into resulting video file, which contains the corresponding visualized representation;
- Getting a specific frame by its number, the result is an image file;
- Work in debug mode with the ability to inspect the entire 3D scene at any moment of the animation.

At the moment a prototype of the software package with minimal functionality necessary for creation of visualized representations was developed. The development team is currently considering an update which shall add physical parameters calculation to the package.

Разработка модального фильтра на керамической подложке для защиты бортовой радиоэлектронной аппаратуры от сверхкороткого импульса

Черникова Е.Б., Костелецкий В.П.
ТУСУР, г. Томск, Россия

К надежности современной авионики космических аппаратов (КА) предъявляют высокие требования, из-за этого важно обеспечивать требования стандартов по электромагнитной совместимости (ЭМС) [1]. Обеспечение ЭМС подразумевает, в том числе, обеспечение защиты от кондуктивных помех сверхкороткой длительности. В связи с этим актуальна задача по созданию простых и надежных устройств защиты авионики от сверхкороткого импульса (СКИ). Для решения этой задачи предлагается использовать полосковые структуры с эффектом модального разложения. Разработку устройства защиты целесообразно начинать с выбора и обоснования оптимальной структуры поперечного сечения. Исходя из этого, в качестве основы был выбран асимметричный модальный фильтр (МФ) с лицевой связью, так как в нем помеховый СКИ ослабляется наиболее эффективно [2]. Для совершенствования характеристик такого МФ, а именно увеличения ослабления и минимизации габаритов, предлагается изготовить МФ с применением керамических материалов на основе оксида алюминия. Параметры поперечного сечения МФ: ширина и толщина проводников равны 15,5 мм и 0,3 мм, разнос 2 мм, высота диэлектрика 0,63 мм, длина 47 мм, относительная диэлектрическая проницаемость 9,9±0,1 и тангенс угла потерь диэлектрика 0,0004. Макет МФ имеет геометрические размеры 50×36×1,3 мм. Выполнена верификация электрических параметров на примере матрицы коэффициентов электростатической индукции С, полученной с помощью компьютерного моделирования и эксперимента. Для измерения электрических характеристик использован LCR-измеритель «Rohde & Schwarz HM8118». Так, максимальное отклонение значений элементов матрицы С составило 0,64 %. Для исследования временных и частотных характеристик макета МФ выполнено электродинамическое моделирование и лабораторный эксперимент, в рамках которого использован векторный анализатор цепей «Панорама» Р4226 компании «Микран». Временные характеристики получены по в ПО ADS на основе измеренных частотных характеристик. В качестве воздействия выбран СКИ с амплитудой э.д.с. 500 мВ и длительностью 300 пс по уровню 0,5. В результате получено, что при электродинамическом моделировании и эксперименте значения частот среза МФ составляют 63 МГц и 66 МГц, соответственно. Отклонение равно 2,3%. Значения максимального напряжения на выходе МФ составляют 57 мВ при электродинамическом моделировании и 37 мВ – при эксперименте. Формы напряжения на выходе согласуются. Таким образом, выполнена разработка оптимальной структуры поперечного сечения МФ, которое в дальнейшем планируется использовать в качестве основы устройства защиты авионики от СКИ в дифференциальном и синфазном режимах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2022-0001.

[1] Kučera M. Electromagnetic compatibility analysing of electrical equipment / M. Kučera and M. Šebök // 2016 Diagnostic of Electrical Machines and Insulating Systems in Electrical Engineering (DEMISEE). – 2016. – P. 104-109.

[2] Костелецкий, В.П. Полосковая структура, защищающая от сверхкоротких импульсов в дифференциальном и синфазном режимах / В.П. Костелецкий, А.М. Заболоцкий // Системы управления, связи и безопасности. – 2021. – № 2. – С. 130–141.

Development of a modal filter on a ceramic substrate for protection of on-board radio equipment against ultrashort pulse

Chernikova E.B., Kosteletskii V.P.
TUSUR, Tomsk, Russia

The reliability of modern spacecraft avionics is highly demanding, making it important to meet the requirements of electromagnetic compatibility (EMC) standards [1]. Ensuring EMC involves, among other things, providing protection against electromagnetic interference of ultrashort duration. In this

regard, the task of creating simple and reliable devices to protect avionics from ultrashort pulse (USP) is relevant. To solve this problem, it is proposed to use band structures with a modal decomposition effect. It is advisable to begin the development of protection device with the selection and justification of optimal cross-section structure. Based on this, asymmetric modal filter (MF) with face coupling has been chosen as the basis because in such an MF the highest attenuation of interfering USP is provided [2]. To improve the characteristics of such MF, namely to increase the attenuation and minimize the dimensions, it is proposed to design the MF using ceramic materials based on aluminum oxide. Parameters of MF cross-section: width and thickness of conductors are 15.5 mm and 0.3 mm, distance is 2 mm, dielectric height is 0.63 mm, length is 47 mm, relative dielectric permittivity is 9.9±0.1 and dielectric loss tangent is 0.0004. MF prototype has geometrical dimensions of 50×36×1,3 mm. The verification of electric parameters on an example of a matrix of coefficients of electrostatic induction C, received by means of computer simulation and experiment is executed. A Rohde & Schwarz HM8118 LCR meter was used to measure the electrical characteristics. Thus, the maximum deviation of the C matrix element values was 0.64 %. To study time and frequency characteristics of MF prototype we performed electrodynamic simulation and laboratory experiment with use of vector circuit analyzer "Panorama" P4226 by "Mikran" company. The time characteristics were obtained using the ADS software based on the measured frequency characteristics. A USP with an emf amplitude of 500 mV and a duration of 300 ps at at a level of 0.5 is chosen as the excitation. As a result, it is obtained that in electrodynamic simulation and experiment, the values of MF cutoff frequencies are 63 MHz and 66 MHz, respectively. The deviation is 2.3%. The values of maximum voltage at the MF output are 57 mV in the electrodynamic simulation and 37 mV in the experiment. Thus, development of optimum structure of MF cross-section, which in future is planned to be used as a basis of device for protection of spacecraft avionics from USP in differential and common modes, is fulfilled.

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under project FEWM-2022-0001.

[1] Kučera M., Šebök M. Electromagnetic compatibility analysing of electrical equipment. 2016 Diagnostic of Electrical Machines and Insulating Systems in Electrical Engineering (DEMISEE), 2016, pp. 104-109.

[2] Kosteletskii V.P., Zabolotsky A.M. Stripline Structure Protecting Against Ultrashort Pulses in Differential and Common Modes. Systems of Control, Communication and Security, 2021, no. 2, pp. 130-141 (in Russian).

Реализация элементов компьютерного зрения на базе двухъядерного микроконтроллера

Шеломанов Д.А., Гавриков М.М., Дорошев А.С., Перчихин О.И.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время применение элементов компьютерного зрения на ЛА становится все более актуальным. Элементы компьютерного зрения позволяют решать широкий спектр задач, связанных с ориентацией во внешнем пространстве, распознаванием образов.

Реализация элементов компьютерного зрения на микроконтроллере позволит увеличить время полёта и уменьшить масса-габаритные характеристики за счет низкого потребления электроэнергии. Так, максимальное энергопотребление микроконтроллера составляет 0.9 Вт, при этом система на модуле на базе Nvidia Tegra TX1, часто применяемая в задачах реализации элементов компьютерного зрения, имеет минимальное энергопотребление 5 Вт.

Для выполнения целей исследования был собран макет устройства с использованием двухъядерного ARM Cortex-M7+Cortex-M4 микроконтроллера STM32 H745, камеры OV7670, дисплея ILI9341.

С целью решения поставленной задачи была выбрана свёрточная нейронная сеть ввиду своей эффективности в области работы с изображениями: классификация, распознавание объектов и образов.

Для имплементации нейронной сети было разработано программное обеспечение с использованием следующих средств разработки: CubeIDE, CubeAI и CubeMX. CubeIDE

является встроенной средой разработки для устройств компании STMicroelectronics. CubeMX, входящий в состав CubeIDE, является графическим инструментом, с помощью которого производится конфигурация микроконтроллера. Пакет расширения CubeAI позволяет автоматически преобразовывать предварительно обученные нейронные сети, а также интегрировать сгенерированные оптимизированные модели в проект пользователя.

Результатом работы стал разработанный прототип устройства с интегрированными на него элементами компьютерного зрения.

Литература:

1. Бортовые системы управления космическими аппаратами: Учебное пособие / Бровкин А.Г., Бурдыгов Б.Г., Гордийко С.В. и др. / Под редакцией А.С. Сырова. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. – 304 с.: ил.

2. STM32 Nucleo-144 development board with STM32H745ZI MCU, SMPS, supports Arduino, ST Zio and morpho connectivity. [Электронный ресурс] – https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-h745zi-q.html.

3. NUCLEO-H745ZI-Q. [Электронный ресурс] – https://www.compel.ru/infosheet/ST/NUCLEO-H745ZI-Q.

Implementation of computer vision elements based on a dual-core microcontroller

Shelomanov D.A., Gavrikov M.M., Doroshev A.S., Perchikhin O.I.
MAI, Moscow, Russia

Currently, the use of computer vision elements on aircraft is becoming more and more relevant. Computer vision elements allow solving a wide range of tasks related to orientation in the external space, pattern recognition.

The implementation of computer vision elements on a microcontroller will increase the flight time and reduce the mass-dimensional characteristics due to low power consumption. Thus, the maximum power consumption of the microcontroller is 0.9 WT, while the system on module based on the Nvidia Tegra TX1, often used in the tasks of implementing computer vision elements, has a minimum power consumption of 5 watts.

To fulfill the research objectives, a mock-up of the device was assembled using a dual-core ARM Cortex-M7+Cortex-M4 microcontroller STM32 H745, an OV7670 camera, and an ILI9341 display.

In order to solve this problem, a convolutional neural network was chosen due to its effectiveness in the field of working with images: classification, recognition of objects and images.

For the implementation of the neural network, software was developed using the following development tools: CubeIDE, CubeAI and CubeMX. CubeIDE is an embedded development environment for STMicroelectronics devices. CubeMX, which is part of CubeIDE, is a graphical tool with which the configuration of the microcontroller is performed. The CubeAI extension package allows you to automatically transform pre-trained neural networks, as well as integrate the generated optimized models into the user's project.

The result of the work was a developed prototype of a device with computer vision elements integrated on it.

References:

1. Onboard spacecraft control systems: Textbook / Brovkin A.G., Burdygova B.G., Gordeyko S.V., etc. / Edited by A.S. Syrov. – M.: Publishing house of MAI-PRINT, 2010. – 304 p.: ill.

2. STM32 Nucleo-144 development board with STM32H745ZI MCU, SMPS, supports Arduino, ST Zio and morpho connectivity. [Electronic resource] – https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-h745zi-q.html.

3. NUCLEO-H745ZI-Q. [Electronic resource] – https://www.compel.ru/infosheet/ST/NUCLEO-H745ZI-Q.

Исследование возможностей graphQL для разработки приложений

Юрков А.Д.
МАИ, г. Москва, Россия

GraphQL набирает все большую популярность у разработчиков засчет его простоты и легкости использования. Для его использования достаточно установить GraphQL сервер, например, для Java Spring Framework есть несколько схожих реализаций. Для получения ответа от GraphQL сервера необходимо послать POST запрос на путь graphql с необходимым RequestBody. В одном теле запроса может находиться сразу несколько запросов к нескольким таблицам базы данных.

Так как можно выбирать, какие поля запросить и какие нет, это решает проблему андерфетчинга (то есть недостаточности данных при запросе) или оверфетчинга (когда есть лишние неиспользуемые данные).

Но несмотря на такие плюсы, как возможность самому выбирать поля, решение двух вышеперечисленных проблем, при стандартной реализации есть одна знаменитая проблема - n+1 проблема. Она возникает, когда при 1:n маппинге таблиц вместо одного запроса ORM посылает n запросов выборки по id каждого элемента, то есть по каждому id. Эта проблема решается добавляем аннотаций к n:1 полям. Тогда множество запросов будут объединены в один с использованием join'ов. Создание и обработку таких запросов берет на себя ORM, и в случае Spring Framework - Spring Data JPA.

GraphQL поддерживает не только выборку данных, но и создание новых сущностей в таблице. GraphQL использует все средства ORM для этого и отправляет на ORM запрос, который потом работает как обычно при работе с БД. Дополнительным преимуществом GraphQL является поддержка серверной обработки запросов GraphQL через HTTP, WebSocket и RSocket. Это позволяет гибко и современно настраивать сервер.

Сейчас у GraphQL есть большой потенциал, проект активно развивается и сейчас все больше компаний используют его в своих проектах.

Источники:

1. https://docs.spring.io/spring-graphql/docs/current-SNAPSHOT/reference/html/ документация по GraphQL.

2. https://habr.com/ru/company/haulmont/blog/451986/ - исследование ORM и GraphQL.

Exploring GraphQL capabilities for application development

Yurkov A.D.
MAI, Moscow, Russia

GraphQL is gaining more and more popularity among developers due to its simplicity and ease of use. To use it, it is enough to install a GraphQL server, for example, there are several similar implementations for the Java Spring Framework. To receive a response from the GraphQL server, you need to send a POST request to graphql path with the required RequestBody. A single query body can contain multiple queries to multiple database tables at once.

Since you can choose which fields to request and which not, this solves the problem of underfitting (that is, insufficient data during the request) or overfitting (when there is extra unused data).

But despite such advantages as the ability to choose the fields yourself, the solution of the two problems listed above, with the standard implementation there is one famous problem - n+1 problem. It occurs when, with 1:n mapping of tables, instead of one query, ORM sends n sampling requests for the id of each element, that is, for each id. This problem is solved by adding annotations to n:1 fields. Then a lot of queries will be combined into one using joins. The creation and processing of such requests is taken over by ORM, and in the case of Spring Framework - Spring Data JPA.

GraphQL supports not only data sampling, but also the creation of new entities in the table. GraphQL uses all the ORM tools for this and sends a request to the ORM, which then works as usual when working with the database. An additional advantage of GraphQL is the support for server-side processing of GraphQL requests via HTTP, WebSocket and RSocket. This allows you to flexibly and modernly configure the server.

Now GraphQL has great potential, the project is actively developing and now more and more companies are using it in their projects.

Sources:

1. https://docs.spring.io/spring-graphql/docs/current-SNAPSHOT/reference/html / - GraphQL documentation.

2. https://habr.com/ru/company/haulmont/blog/451986 / - ORM and GraphQL research.

4. Информационно-телекоммуникационные технологии авиационных, ракетных и космических систем

4. Information and telecommunication technology of aviation, rocket and space systems

Техническое решение для регистрации сигнала от импульсного источника в широком диапазоне амплитудно-временных параметров

Агеев Ю.Д., Бондаренко Д.А., Скопинова А.В.
АО «НПК «СПП», г. Москва, Россия

Для формирования состава вектора рабочих параметров специального программного обеспечения блока регистрации сигнала излучения используется модель функции чувствительности интегрального показателя качества функционирования и на основе операций методики обоснования перечня входных параметров, контролируемых при отработке, контроле и испытаниях определены состав исходных параметров и диапазон возможного изменения значений. Алгоритм функционирования блока регистрации сигнала излучения включает операции определения амплитудно-временных параметров сигнала излучения. Особенность выполнения операции определения амплитудно-временных параметров сигнала излучения состоит в необходимости регистрации значений параметров в значительном динамическом диапазоне с заданным порогом чувствительности в определенном спектральном диапазоне. Вследствие этого в аппаратно-программном модуле реализовано техническое решение в виде трехрангового тракта информационно-измерительной операции при регистрации сигнала излучения. Для каждого ранга определен коэффициент усиления. Регистрация сигнала излучения осуществляется в одном из рангов тракта в зависимости от значения параметра, определяющего уровень амплитуды сигнала.

По результатам оценки чувствительности и характеристик стабильности определена необходимость учета значения параметров, определяющих порог регистрации каждого ранга тракта и пороговые значения аналого-цифрового преобразователя для понижения и повышения ранга. Корректность в определении значений и диапазона возможного изменения рабочих параметров обеспечивает требуемое качество функционирования блока регистрации сигнала излучения.

Литература:

Татуев А.И. Принципы формирования наземных отработочных испытаний аэрокосмических объектов. Журнал «Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», том 1, 2007. С.153 – 156.

Technical solution for recording a signal from a pulsed source in a wide range of amplitude-time parameters

Ageev Y.D., Bondarenko D.A., Skopinova A.V.
JSC «SPC «PIS», Moscow, Russia

To form the composition of the vector of operating parameters of the special software of the radiation signal recording unit, the model of the sensitivity function of the integral indicator of the quality of operation is used, and based on the operations of the methodology for substantiating the list of input parameters controlled during development, control and testing, the composition of the initial parameters and the range of possible change in values are determined. The operation algorithm of the radiation signal registration unit includes operations for determining the amplitude-time parameters of the radiation signal. A feature of the operation of determining the amplitude-time parameters of the radiation signal is the need to register the values of the parameters in a significant dynamic range with a given sensitivity threshold in a certain spectral range. As a result, a technical solution is implemented in the hardware-software module in the form of a three-rank path of the

information-measuring operation when registering the radiation signal. For each rank, the gain factor is determined. Registration of the radiation signal is carried out in one of the ranks of the path, depending on the value of the parameter that determines the level of the signal amplitude.

Based on the results of the assessment of sensitivity and stability characteristics, it was determined that it is necessary to take into account the values of the parameters that determine the threshold for registering each rank of the path and the threshold values of the analog-to-digital converter for lowering and increasing the rank. Correctness in determining the values and the range of possible changes in the operating parameters ensures the required quality of the operation of the radiation signal registration unit.

References:

Tatuev A.I. Principles of formation of ground development tests of aerospace objects. Journal "Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality", volume 1, 2007. P.153 - 156.

Исследование влияния априорно известных частотно-временных характеристик сигнала на характеристики обнаружения в аппаратуре радиоэлектронного наблюдения

Бирюков И.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

Системы радиоэлектронного наблюдения (РЭН) должны обнаруживать радиосигналы источников радиоизлучения (ИРИ) в широком диапазоне их возможных радиотехнических параметров. В связи с этим обнаружитель в системах РЭН, как правило, является не оптимальным и в ряде случаев недостаточно эффективным [1].

Вместе с тем в системах РЭН имеется информация о принимаемых сигналах имеется информация, которая используется при решении задачи их распознавания [1]. Данная информация представляет собой описание радиосигналов в пространстве возможных значений радиотехнических параметров в соответствии с режимами работы ИРИ.

Поэтому для повышения эффективности обнаружения радиосигналов ИРИ возникла необходимость разработки алгоритма, который за счет использования информации о априорно известном распределении частотно-временных характеристик радиосигналов ИРИ позволит повысить вероятность их правильного обнаружения.

Согласование с полосой несущих частот и шириной спектра сигнала является известной формой согласования с режимом работы ИРИ [2]. Предлагается дополнительно использовать временные характеристики для повышения эффективности работы обнаружителя.

В предлагаемом алгоритме в системах РЭН сигнал после предварительного усиления, преобразования частоты и оцифровывания поступает на квазиоптимальный фильтр, который имеет импульсную характеристику, согласованную с априорным описанием s-ого режима работы ИРИ [2]. После этого сигнал поступает на нелинейный элемент, проходит через накопитель со скользящим окном (НСО) и поступает на пороговое устройство, где принимается решение об обнаружении сигнала.

В НСО, как и в квазиоптимальный фильтр, поступает информация об априорном описании s-ого режима работы ИРИ. В общем случае постоянная интегрирования (Тинт) НСО определяется минимально возможной длительностью сигнала, обнаружение которого нужно обеспечить системой РЭН (τ_minSys) [3]. В предлагаемом алгоритме постоянная интегрирования определяется исходя из минимальной длительности импульса из априорного описания, т.е. Тинт = τ_(min[s]).

Для оценки эффективности разработанного квазиоптимального алгоритма обнаружения радиосигналов ИРИ создана компьютерная имитационная модель в среде программирования MatLab.

В результате проведенного имитационного моделирования выполнена оценка характеристик обнаружения радиосигналов ИРИ, при использовании в алгоритме априорно известных частотно-временных характеристик сигнала. Анализ полученных результатов показал, что использование предложенного алгоритма в системах РЭН приводит к повышению отношения сигнал-шум и вероятности правильного обнаружения сигналов ИРИ, а с увеличением плотности вероятности значения параметров в априорном описании

частотно-временных характеристик радиосигнала эффективность разработанного алгоритма стремиться к оптимальному.

Литература:

1. Радиотехническая разведка / Ю.А.Смирнов. – М.: Военное издательство, 2001. - С. 456.

2. Алгоритмы обработки информации в авиационных системах радиоэлектронного наблюдения [Журнал] / Бирюков И.Д. Бучучан П.В., Тимошенко П.И. // РЭНСИТ: Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии.. - 2020 г.. - 4 : Т. 12. - С. 517-529.

3. Теоретические основы радиоэлектронной разведки / Куприянов А.И. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009. - С. 387.

Study of the influence of a priori known frequency-time characteristics of a signal on the characteristics of detection in an electronic surveillance system

Biryukov I.D.

MAI, Moscow, Russia

Electronic surveillance systems (ESS) must detect radio signals of radio emission sources (RES) in a wide range of their possible radio technical parameters. In this regard, the detector in ESS systems, is not optimal and, in some cases, not effective enough [1].

At the same time, ESS systems have information about the received signals; there is information that is used in solving the problem of their recognition [1]. This information is a description of radio signals in the space of possible values of radio engineering parameters in accordance with the modes of operation of the RES.

Therefore, in order to increase the efficiency of detecting radio signals from RES, it became necessary to develop an algorithm that, by using information about the a priori known distribution of the frequency-time characteristics of RES radio signals, will increase the probability of their correct detection.

Coordination with the carrier frequency band and the width of the signal spectrum is a well-known form of coordination with the mode of operation of the RES [2]. It is proposed to additionally use time characteristics to improve the efficiency of the detector.

In the proposed algorithm in ESS systems, the signal, after pre-amplification, frequency conversion, and digitization, enters the quasi-optimal filter, which has an impulse response consistent with the a priori description of the s-th mode of the RES [2]. After that, the signal enters the nonlinear element, passes through the sliding window accumulator (SWA) and arrives at the threshold device, where a decision is made to detect the signal.

The SWA, as well as the quasi-optimal filter, receives information about the a priori description of the s-th mode of operation of the RES. In the general case, the integration constant (Tint) of the SWA is determined by the minimum possible duration of the signal, the detection of which must be provided by the ESS system (τ_minSys) [3]. In the proposed algorithm, the integration constant is determined based on the minimum pulse duration from the a priori description, i.e. $Tint = \tau(min[s])$.

To evaluate the effectiveness of the developed quasi-optimal algorithm for detecting RES radio signals, a computer simulation model was created in the MatLab.

As a result of the simulation modeling, an assessment of the characteristics of the detection of RES radio signals was made, using a priori known frequency-time characteristics of the signal in the algorithm. The analysis of the results showed that the use of the proposed algorithm in ESS systems leads to an increase in the signal-to-noise ratio and the probability of correct detection of RES signals, and with an increase in the probability density of the parameter values in the a priori description of the frequency-time characteristics of the radio signal, the efficiency of the developed algorithm tends to the optimal one.

References:

1. Radio intelligence / U.A. Smirnov. - M .: Military publishing house, 2001. - P. 456.

2. Algorithms for processing information in aviation systems of electronic surveillance [Journal] / Biryukov I.D. Buchuchan P.V., Timoshenko P.I. // RENSIT: Radioelectronics. Nanosystems. Information technologies.. - 2020. - 4: T. 12. - P. 517-529.

3. Theoretical foundations of electronic intelligence / Kupriyanov A.I. - M .: Publishing house of MSTU im. N.E. Bauman, 2009. - P. 387.

Алгоритмы решетчатой фильтрации для решения проблемы воздействия комбинированных помех на РЛС БПЛА

Виноградов М.С.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время появляются все новые цели и задачи, которые решаются с помощью беспилотных летательных аппаратов. Исходя из широкого спектра применения, радары, установленные на БПЛА, должны решать различные задачи. Однако основной, как и в случае классических БРЛС, остается измерение угловых координат источника излучения, первичного для случая пассивной локации или же вторичного.

Однако, несмотря на стремительное развитие электроники в целом и радиотехники в частности, основной проблемой в работе с электромагнитными волнами, является наличие шумов и помех, а в случае радиолокации, принцип многолучевого распространения радиоволн и влияние подстилающей поверхности, а также переотражения от рельефа местности, которые невозможно однозначно участь, на этапе проектирования РЛС, делает задачу борьбы с совокупностью пассивных и активных помех весьма актуальной. По мимо лучей, отраженных от земной поверхности, к ошибкам в оценке угла направления на цель, а также вероятность обнаружения ложной цели, может приводить и воздействие других средств излучения. Именно поэтому одним из важных тактико-технических характеристик любого устройства, работающего на радиочастоте, является помехоустойчивость – это свойство устройства выполнять поставленные задачи с допустимым снижением качества в условиях помех [1].

В современных радиолокационных станциях, используемых на беспилотных летательных аппаратах, очень большую роль играют масса-габаритные параметры устройства, учитывая данный аспект, увеличение энергии принимаемого сигнала, в частности повешения мощности передатчика невозможно. Так же, беря в расчет данные условия, при выборе устройств излучения электромагнитных волн, отдают предпочтения антенным решеткам (АР), так как в отличии от классических излучателей (волноводных или зеркальных) АР имеют меньшую массу и габариты, а также возможность производить сканирование не механическим методом. Все описанное выше, в совокупности со сложной электромагнитной обстановкой, диктуют потребность в изучении и синтезировании на базе РЛС БПЛА с антенной решетки, алгоритмов цифровой обработки, которые позволят обеспечить эффективное подавление помех, как пассивных, так и активных, а также высокое качество обработки радиолокационных сигналов.

В данной работе представлено одно из возможных решений, которое основывается на применении алгоритма решетчатой фильтрации [2,3] в системах пространственно-временной обработке сигналов.

Литература:

1. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск: учебник / В.Н. Тяпкин, А.Н. Фомин, Е.Н. Гарин [и др.]; под общ. ред. В.Н. Тяпкина. – 2-е изд., перераб. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т. – 2016. – 536 с. ISBN 978-5-7638-3410-9

2. Виноградов, М. С. Анализ эффективности алгоритмов адаптивной обработки в радиолокационных системах при воздействии комбинированных помех / М. С. Виноградов, И. В. Нелин, Б. Г. Свердлов // Авиация и космонавтика: Тезисы 20-ой Международной конференции, Москва, 22–26 ноября 2021 года. – Москва: Издательство "Перо", 2021. – С. 302-303. – EDN IIUJLB.

3. РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ВЫЧИСЛЕНИЯ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ МНОГОКАНАЛЬНОГО КОМПЕНСАТОРА АШП НА ЦИФРОВОМ СИГНАЛЬНОМ ПРОЦЕССОРЕ TS201S. БУРОВ В.Н., БУКВАРЕВ Е.А. - ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ Издательство: Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова (Москва) ISSN: 1684-2634

Lattice filtering algorithms for solving the problem of combined interference effects on the UAV's radar

Vinogradov M.S.
MAI, Moscow, Russia

Based on the variety of applications, radars installed on UAVs must solve various tasks. However, the main one, as in the case of classical radar, remains the measurement of the angular coordinates of the radiation source, that is, the direction of arrival of electromagnetic waves emitted by the target, or in the form of probing signals reflected from the target emitted by the radar, is determined.

Despite the rapid development of electronics in general and radio engineering in particular, the main problem in working with electromagnetic waves is the presence of noise and interference, and in the case of radar, the principle of multipath propagation of radio waves and the influence of the underlying surface, as well as re-reflection from the terrain, which cannot be unambiguously solved, at the radar design stage, makes the task of combating the combination of passive and active interference very relevant. By passing the rays reflected from the earth's surface, the impact of other radiation means, such as other radars or other devices operating in the radio range, as well as electronic warfare means, can lead to errors in estimating the angle of direction to the target, as well as the probability of detecting a false target, which is especially problematic for UAVs of a certain purpose. That is why one of the important tactical and technical characteristics of any device operating at a radio frequency is noise immunity. There are many ways to ensure this parameter, but they are all divided into 2 groups: increasing the energy of the received signal and reducing the power of interference at the input or inside the receiving path.

In modern radar stations used on unmanned aerial vehicles, the mass-dimensional parameters of the device play a very important role, given this aspect, an increase in the energy of the received signal, in particular, it is impossible to hang the transmitter power. Also, taking into account these conditions, when choosing devices for emitting electromagnetic waves, they prefer antenna arrays, since, unlike classical emitters (waveguide or mirror), antenna arrays have a smaller mass and dimensions, as well as the ability to scan using a non-mechanical method. All of the above, combined with a complex electromagnetic environment, dictate the need to study and synthesize based on a radar UAV with an antenna array, digital processing algorithms that will ensure effective suppression of interference, both passive and active, as well as high-quality processing of radar signals.

In this paper, one of the possible solutions is presented, which is based on the application of the lattice filtering algorithm in spatiotemporal signal processing system.

Алгоритм обработки измерительной информации в космической системе глобального мониторинга

Филиппов Д.В., Кусов С.В., Соболев А.Н.
АО «НПК «СПП», г. Москва, Россия

В целях обеспечения приёма и обработки поступающей информации с бортовой аппаратуры космической системы глобального мониторинга разработан комплекс алгоритмов в наземном сегменте космической системы глобального мониторинга.

Космическая система глобального мониторинга решает задачу обнаружения и засечки импульсного излучения, обработку и выдачу полученной информации потребителю. Данный алгоритм является комплексом программ (алгоритмов) и предназначен для проверки тактико-технических характеристик наземной аппаратуры приема и обработки информации наземного сегмента КСГМ и реализован в комплексе программ вычислительного комплекса наземной аппаратуры приема и обработки информации.

Комплекс программ ВК НАПОИ состоит из следующих программ:

• «ВК» – алгоритм разработан с целью приёма сообщений, поступающих с бортовой аппаратуры КСГМ;

• «Обработка ИС» – алгоритм разработан для обработки информационных сообщений приемной аппаратурой потребителя;

• «Имитатор» – алгоритм моделирования сообщений приемной аппаратуры потребителя, с целью дальнейшей проверки параметров приема и обработки;

• «Терминал» – алгоритм отображения полученной информации на средствах потребителя;
• «МФК» – алгоритм контроля орбитальной группировки КСГМ;
• «Сравнение» – алгоритм оценки результатов имитации.

Алгоритм обработки измерительной информации является неотъемлемой составной частью КСГМ и играет важную роль в решении задачи обнаружения и засечки источника импульсного излучения КСГМ.

Литература:

1. ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Редакция 5.1. М. 2008.

2. ГОСТ Р 51794-2001, Аппаратура радионавигационная глобальной навигационной спутниковой системы и глобальной системы позиционирования, СИСТЕМЫ КООРДИНАТ, Методы преобразований координат определяемых точек.

Algorithm for processing measurement information in the global monitoring space system

Filippov D.V., Kusov S.V., Sobolev A.N.
JSC "SPC "PIES", Moscow, Russia

In order to ensure the reception and processing of incoming information from the onboard equipment of the space global monitoring system, a set of algorithms has been developed in the ground segment of the space global monitoring system.

The space-based global monitoring system solves the problem of detecting and detecting pulsed radiation, processing and issuing the received information to the consumer. This algorithm is a set of programs (algorithms) and is designed to test the tactical and technical characteristics of the ground-based equipment for receiving and processing information of the ground segment of the IGC and is implemented in the software package of the computing complex of ground-based equipment for receiving and processing information.

The set of programs of VK NAPOI consists of the following programs:

• "VK" – the algorithm is designed to receive messages coming from the on-board equipment of the IGC;
• "IP processing" – the algorithm is designed for processing information messages by the consumer's receiving equipment;
• "Simulator" – an algorithm for modeling messages of the consumer's receiving equipment, in order to further verify the parameters of reception and processing;
• "Terminal" – an algorithm for displaying the received information on the consumer's means;
• "IFC" – algorithm for controlling the orbital grouping of the IGC;
• "Comparison" is an algorithm for evaluating simulation results.

The algorithm for processing measuring information is an integral part of the IBC and plays an important role in solving the problem of detecting and marking the source of the pulse radiation of the IBC.

References:

1. GLONASS. Interface control document. Revision 5.1. M. 2008.

2. GOST R 51794-2001, Radio navigation equipment of the global navigation satellite system and the global positioning system, coordinate systems, Methods of coordinate transformations of defined points.

Бортовые антенные системы радиолинии передачи целевой информации

Гаджиев Э.В., Овчинникова Е.В., Кондратьева С.Г., Шмачилин П.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Радиолиния передачи целевой информации (РЛЦИ) является одной из важных бортовых радиолиний космических аппаратов (КА) любого назначения и класса [1].

В настоящее время, учитывая современные требования к бортовым радиолиниям, а также имеющие особенности эксплуатации, возникает потребность в построении высокоскоростных радиолиний. Одним из способов является модернизация бортовой антенной системы КА [2].

В составе антенной системы РЛЦИ КА серии «Канопус–В» и КА «Метеор–М» применение нашли зеркальные антенны сантиметрового диапазона частот. Более подробно энергетические параметры и параметры конструкции антенны приведены в [3,4].

Известно [5] применение антенной решётки, излучатели которой выполнены в виде открытого конца волновода. Более подробно энергетические параметры и параметры конструкции антенной решётки приведены в [6].

В данной работе предложен вариант применения волноводной антенной решётки из восьми элементов с линейной перегородкой и выступами [7,8]. Приведены результаты электродинамического моделирования и проведена оценка полученных результатов.

Литература:

1. Антенные системы радиолинии передачи информации космических аппаратов: состояние и перспективы развития / Е.В. Овчинникова, С.Г. Кондратьева, П.А. Шмачилин [и др.] // Радиотехника. – 2021. – Т. 85. – № 3. – С. 86-95. – DOI 10.18127/j00338486-202103-09.

2. Антенные системы радиолинии передачи информации космических аппаратов: пути построения / Е.В. Овчинникова, С.Г. Кондратьева, П.А. Шмачилин [и др.] // Радиотехника. – 2022. – Т. 86. – № 6. – С. 109-128. – DOI 10.18127/j00338486-202206-14.

3. КА "Канопус–В" № 1 – первый российский малый космический аппарат высокодетального дистанционного зондирования Земли нового поколения / Л.А. Макриденко, С.Н. Волков, А.В. Горбунов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2017. – Т. 156. – № 1. – С. 10-20.

4. Перспективы развития бортовой антенной системы космических аппаратов серии "Метеор-М" / А.Б. Захаренко, А.Ю. Федотов, Э.В. Гаджиев, П.П. Телепнев // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2021. – Т. 182. – № 3. – С. 19-23.

5. Двуреченский В.Д. Спутниковая антенна с эллиптической поляризацией / В.Д. Двуреченский, П.П. Телепнев, А.Ю. Федотов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2013. – Т. 134. – № 3. – С. 27-30.

6. Двуреченский В.Д. Линейная антенна с эллиптической поляризацией для космических аппаратов / В.Д. Двуреченский, П.П. Телепнев, А.Ю. Федотов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2017. – Т. 161. – № 6. – С. 17-19.

7. Малогабаритный волноводный излучатель / Е.В. Овчинникова, С.Г. Кондратьева, П.А. Шмачилин [и др.] // Инжиниринг и телекоммуникации - En&T 2021: Сборник тезисов VIII Международной конференции, Долгопрудный, 24–25 ноября 2021 года. – Москва/Долгопрудный: Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), 2021. – С. 59-62.

8. On-Board X-Band Antenna Array / E.V. Gadzhiev, E.V. Ovchinnikova, S.G. Kondratieva, P.A. Smachilin // 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings, Moscow, 15–17 марта 2022 года. – Moscow, 2022. – DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744339.

On-board antenna systems of target information transmission radio line

Gadzhiev E.V., Ovchinnikova E.V., Kondratieva S.G., Shmachilin P.A.
MAI, Moscow, Russia

A target information transmission radio line is one of the important on-board radio lines of spacecraft of any purpose and class [1].

At present, considering modern requirements for on-board radio lines as well as having operational features, there is a need to design high-speed radio lines. One of the ways is to upgrade the onboard antenna system of the spacecraft [2].

As part of the antenna system of target information transmission radio line of series of the spacecraft Canopus–V and Meteor–M, X-band mirror antennas have found application. In more detail, the energy parameters and the parameters of the antenna design are given in [3,4].

It is known [5] the use of an antenna array, the emitters of which are made in the form of an open end of a waveguide. In more detail, the energy parameters and parameters of the antenna array design are given in [6].

In this paper, a variant of using a waveguide antenna array of eight elements with a linear partition and projections is proposed [5,6]. The results of electrodynamic modeling are presented and the results obtained are estimated.

Reference:

1. Ovchinnikova E.V., Kondratieva S.G., Shmachilin P.A., Nguen Dinh To, Gadzhiev E.V., Perfilova A.O. State and prospects for the development of antenna systems for spacecraft radio date communication of transmitting information. Radioengineering. 2021. № 3. pp. 86-95. DOI 10.18127/j00338486-202103-09.

2. Ovchinnikova E.V., Kondratieva S.G., Shmachilin P.A., Nguen Dinh To, Gadzhiev E.V. The antenna system of target information transmission radio line of the spacecraft: ways of constructions. Radioengineering. 2022. № 6. – pp. 109-128. – DOI 10.18127/j00338486-202206-14.

3. Makridenko L.A., Volkov S.N., Gorbunov A.V., Salikhov R.S., Khodnenko V.P. The first Russian next generation high resolution earth remote sensing small satellite Canopus-V no. 1. Electromechanical matters. VNIIEM studies. 2017. № 1. pp. 10-20.

4. Zakharenko A.B., Fedotov A.IU., Gadzhiev E.V., Telepnev P.P. Prospects of development of on-board antenna system of "Meteor-M" series spacecrafts. Electromechanical matters. VNIIEM studies. 2021. № 3. pp. 19-23.

5. Dvurechenskij V.D., Telepnev P.P., Fedotov A.Ju. Sputnikovaja antenna s jellipticheskoj poljarizaciej. Electromechanical matters. VNIIEM studies. 2013. № 3. pp. 27-30.

6. Dvurechenskij V.D., Telepnev P.P., Fedotov A.Ju. Linejnaja antenna s jellipticheskoj poljarizaciej dlja kosmicheskih apparatov. Electromechanical matters. VNIIEM studies. 2017. № 6. pp. 17-19.

7. Ovchinnikova E.V., Kondratieva S.G., Shmachilin P.A., Nguen Dinh To, Gadzhiev E.V. Small–sized waveguide radiator. International Conference Engineering and Telecommunication. 2021. pp. 59-62.

8. On-Board X-Band Antenna Array / E.V. Gadzhiev, E.V. Ovchinnikova, S.G. Kondratieva, P.A. Smachilin // 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings, Moscow,– Moscow, 2022. – DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744339.

Бортовые радиолинии космических аппаратов

Гаджиев Э.В., Сычиков Ю.В., Аликин Ю.И., Рябчиков В.И.
АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва, Россия

Как правило, на борту космических аппаратов (КА) используются следующие радиолинии [1,2].

Телекомандная система (ТКС) предназначена для обеспечения непосредственного взаимодействия КА с наземными командно-измерительными системами с целью управления и радиоконтроля орбиты КА, сбора телеметрической информации от бортовой датчиковой сети, запоминания собранной информации и передачи обработанной информации по радиолинии S-диапазона на наземные приёмные пункты [3].

Радиолиния передачи целевой информации (РЛЦИ) предназначена [4]:

• Для приёма цифровой информации от целевой аппаратуры;

• Для формирования цифровых потоков заданной структуры;

• Для подготовки передачи цифровых потоков на пункты приёма информации.

Аппаратура спутниковой навигации (АСН) осуществляет [1]:

• Приём навигационных сигналов со спутников космических систем ГЛОНАСС и GPS;

• Проведение навигационных определений положения и движения КА на орбите и передачу навигационной информации в бортовую вычислительную систему;

• Формирование и выдачу секундных меток в бортовую вычислительную систему.

Помимо перечисленных выше бортовых радиолиний применение нашли и радиолинии для специальных систем и комплексов (научная аппаратура, системы КОСПАС–САРСАТ и др.).

В данной работе рассмотрено текущее состояние и перспективы развития указанных выше радиолиний как в целом, так и в части антенно-фидерных устройств с учётом современных

требований, предъявляемых при проектировании перспективных КА (улучшение энергетических показателей, оптимизация бортовой кабельной сети, уменьшение массы аппаратуры, повышение надёжности, снижение стоимости).

Литература:

1. Космический комплекс оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций «Канопус-В» с космическим аппаратом «Канопус-В» № 1. – М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2011. – С. 110.

2. Макриденко Л.А., Волков С.Н., Горбунов А.В., Салихов Р.С., Ходненко В.П. КА «Канопус–В» № 1 – первый российский малый космический аппарат высокодетального дистанционного зондирования Земли нового поколения // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2017. – Т. 156. – С. 10–20.

3. Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Результаты лётных испытаний антенно–фидерных систем телекомандной системы КА «Канопус–В» №1 и Белорусского КА и пути усовершенствования их характеристик // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. № 4 (16). С. 5–12.

4. Сычиков Ю.В., Аликин Ю.И., Помазов М.В., Тихонычев В.В., Гаджиев Э.В. Состояние и перспективы развития радиолинии передачи целевой информации космических аппаратов. Материалы Девятой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования земли». 2011. С. 67–69.

On-board radio line of spacecraft

Gadzhiev E.V., Sychikov Yu.V., Alikin Yu.I., Ryabchikov V.I.
VNIIEM Corporation, Moscow, Russia

As a rule, the following on-board radio lines are used in spacecraft [1,2].

The telecommand system is designed to provide direct interaction of the spacecraft with ground-based command and measurement systems for the purpose of controlling and radio monitoring of the spacecraft orbit, collecting telemetry information from the on–board sensor network, storing the collected information and transmitting the processed information via the S-band radio link to ground receiving points [3].

The target information transmission radio line is intended for [4]:

• To receive digital information from the target equipment;

• To form digital streams of a given structure;

• To prepare the transmission of digital streams to the receiving points of information.

Satellite navigation equipment carries out [1]:

• Reception of navigation signals from satellites of GLONASS and GPS space systems;

• Conducting navigation determinations of the spacecraft's position and motion in orbit and transmitting navigation information to the onboard computer system;

• Formation and issuance of second markers to the on-board computer system.

In addition to the on-board radio lines listed above, radio lines for special systems and complexes (scientific equipment, COSPAS-SARSAT systems, etc.) have also found application.

In this paper considers the current state and prospects for the development of the above-mentioned radio lines, both in general and in terms of antenna-feeder devices, taking into account modern requirements for the design of advanced spacecraft (improving energy performance, optimizing the on-board cable network, reducing the weight of equipment, increasing reliability, reducing cost).

References:

1. Space complex of operational monitoring of technogenic and natural emergencies "Canopus-V" with the spacecraft "Canopus-V" No. 1. – Moscow: FSUE "NPP VNIIEM", 2011. – p. 110.

2. Makridenko L.A., Volkov S.N., Gorbunov A.V., Salikhov R.S., Khodnenko V.P. The first Russian next generation high-resolution earth remote sensing small satellite Canopus-V no. 1. Electromechanical matters. VNIIEM studies. 2017. № 1. pp. 10-20

3. Bocharov V.S., Generalov A.G., Gadzhiev E.V. Results of flight tests of antenna feeder devices of telecommanded system of space vehicle "Kanopus-V" №1 and Belarussian space vehicle and the

ways of their performances inhancement. Radio engineering and telecommunication systems. 2014. № 4 (16). pp. 5-12

4. Sychikov Yu.V., Alikin Yu.I., Pomazov M.V., Tikhonychev V.V., Gadzhiev E.V. State and prospects of development of the target information transmission radio line of spacecraft. Materials of the Ninth International scientific and technical conference "Actual problems of creation of space systems of remote sensing of the Earth". 2011. pp. 67-69.

Определение среднего направления диаграммы направленности антенны

[1]Ильин Е.В., [2]Бронников Д.В., [1]Багно Д.В.

[1]МАИ, г. Москва, Россия

[2]АО «НИИП им. В.В. Тихомирова», Жуковский, Россия

Для ряда практических важных приложений существует необходимость вычисления угловых координат центра масс луча антенной системы – среднего направления диаграммы направленности (ДН). Решение задачи определения средего направления ДН может потребоваться как при обработке результатов электродинамического моделирования, так и в антенных измерениях в ближней и дальней зонах. Требуемая погрешноть вычисления среднего направления может составлять 0.5 % от ширины луча по уровню –3 дБ, что значительно меньше предельно достижимой на практике погрешности определения направления максимума ДН.

Для вычисления среднего напрвления теоретически расчитанной амплитудной ДН нами была разработана компьютерная программа анализа ДН. Массив отсчетов ДН, полученный в результате моделирования или измерений, подвергается двумерной интерполяции в сферической системе координат методом двойной триангуляции с усреднением. Интерполяция необходима для получения значений ДН между узлами исходной сетки дискретизации углов, а также в связи с необходимостью перехода в специальные системы координат. При расчете среднего направления ДН программа вычисляет двойные интегралы по сложной кубатурной формуле Гаусса.

Разработанная программа анализа ДН также может быть использована для вычислений среднего направления по пространственной ДН, восстановленной по измеренному ближнему полю. Дополнительно для получения среднего направления ДН в системе координат, связанной с конструкцией антенной системы, необходимо определить начальный угол установки антенны относительно плоскости сканирования. Для решения этой задачи был разработан и изготовлен прецизионный лазерный дальномер, предназначенный для установки на плоский сканер, и необходимое программное обеспечение. Дальномер совместно со сканером и опорно-поворотным устройством управляется из программной среды MATLAB и позволяет совместить плоскость сканирования с привалочной плоскостью антенны с погрешностью не более 1 угл. с.

При измерениях в дальней зоне для определения среднего направления ДН использована известная методика, аттестованная для конкретных типов антенн. Среднее направление вычисляется по измеренным угловым координатам центров сечений луча ДН для некоторого набора уровней сечений с использованием весовых коэффициентов. Для оценки точности методики для антенн других типов исследована зависимость вычисленного центра сечения главного лепестка в зависимости от уровня сечения.

Для верификации результатов измерений в дальней зоне разработанная программа анализа измеренной ДН в ближней зоне также имеет возможность вычисления центра масс в сечениях, соответствующих кинематике опорно-поворотного устройства.

В докладе обсуждаются реализованные алгоритмы. Результаты компьютерного моделирования сравниваются с результатами измерений.

Determination of the average direction of the antenna pattern

[1]Ilin E.V., [2]Bronnikov D.V., [1]Bagno D.V.
[1]MAI, Moscow, Russia
[2]V.Tikhomirov Scientific Research Institute of Instrument Design, Zhukovsky, Russia

For a number of practical applications, it is necessary to know the angular coordinates of the mathematical average of the direction of antenna pattern or the mass center of antenna's main lobe. This problem needs to be solved for the antenna pattern numerical data obtained either as a result of antenna full-wave electromagnetic simulation or a far-zone and near-field measurements. The acceptable inaccuracy in determining the average direction can be set as low as 0.5% of the antenna half-power beam width, which is hundreds of times less than the practically achievable error in determining the direction of the same beam's direction.

To calculate the average direction of calculated antenna pattern, we developed a multifunctional computer program for the analysis of antenna patterns. An array of angular samples of antenna pattern, either modeled or measured, is subjected to two-dimensional interpolation in a spherical coordinate system by the method of double triangulation. Interpolation is necessary to get the values between the nodes of the original discretization grid, as well as due to the need to transit to another specific spherical coordinate systems. When calculating the average direction of the antenna pattern, the program calculates double integrals using the complex cubature Gauss formula.

The program allows also to calculate the average direction from the near field samples registered with a plane scanner. For this, it is necessary to determine the initial angle of the antenna aperture relative to the scanning plane. A precision positioner was designed and built which is based on laser rangefinder, attendant controlling software was developed as well. The rangefinder in conjunction with the scanner and the turntable is controlled from the MATLAB environment and allows to align the scanning plane to the antenna attachment plane with an error of less than 1 arc second.

For far zone measurements which are performed with a turntable, a known approach, certified for specific types of antennas, was used to determine the average direction of the pattern. The average direction is calculated from a weighted set of measured angular coordinates of the centers of the beam cross-sections made on certain number of cutting levels. To estimate the accuracy of the technique for antennas of different types, the dependence of the cutting level on calculated center of the main lobe was studied. To compare and verify the results of far-zone and near-field measurements, the account of kinematics of the particular turntable was introduced to the program.

Implemented algorithms are discussed. The results of computer simulation are compared with the results of measurements.

Исследование электрофизических характеристик авиационных радиопрозрачных эмалей на основе фторсополимеров

[1]Ильин Е.В., [2]Бронников Д.В., [2]Агеев П.А., [2]Анисимов С.А.
[1]МАИ, г. Москва, Россия
[2]АО «НИИП им. В.В. Тихомирова», г. Жуковский, Россия

Химической промышленностью разработан и выпускается ряд авиационных лакокрасочных материалов, предназначенных для окраски радиопрозрачных обтекателей летательных аппаратов. Для некоторых материалов в технической документации приведены требования к значениям диэлектрической проницаемости Ɛ и тангенса угла диэлектрических потерь tgδ, которые контролируются при производстве. Однако вернуться к исследованию электрофизических характеристик таких материалов необходимо по следующим причинам:

1. Требования технических условий к Ɛ и tgδ предъявляются на частоте 1 МГц. Сведения о характеристиках материалов в дм-, см- и мм-диапазонах длин волн, в которых работает современная бортовая радиоэлектронная аппаратура, в открытых источниках отсутствуют.
2. Требования технических условий (ТУ) имеют широкие поля допусков для Ɛ и tgδ.
3. Требования ТУ приведены одновременно для материалов всех цветов. В то же время пигменты могут оказывать значительное влияние на свойства лакокрасочных материалов.

4. В технической документации отсутствуют сведения о магнитных свойствах лакокрасочных материалов. При этом в состав некоторых радиопрозрачных эмалей входят железоокисные пигменты, способные проявлять ферромагнитную природу.

5. Современные радиоизмерительные приборы позволяют построить на их основе измерительно-вычислительные комплексы, с высокой точностью определяющие Ɛ и tgδ в широком диапазоне сверхвысоких частот.

6. Получили развитие коммерческие программные пакеты полноволнового электродинамического моделирования, позволяющие учитывать при расчетах свойства лакокрасочного покрытия.

7. Характеристики современных печатных антенн, интегрированных в обшивку фюзеляжа летательного аппарата, зависят от параметров лакокрасочного покрытия в значительно большей степени, чем характеристики радиопрозрачных обтекателей.

8. Продолжают повышаться требования к радиотехническим характеристикам обтекателей в части снижения вносимого ослабления и пеленгационных ошибок.

9. Известны случаи значительного ухудшения радиотехнических параметров обтекателей после их покраски в условиях серийного производства изделий авиационной техники.

Изготовлен набор образцов свободных пленок из девяти эмалей марок «ФП» на основе фторсополимеров.

Приведены результаты измерений параметров образцов с использованием векторного анализатора цепей и объемного цилиндрического резонатора.

Показано, что характеристики эмалей в значительной степени определяются используемыми пигментами и наполнителями.

Study of the electrophysical characteristics of aviation radiotransparent enamels based on fluorocopolymers

[1]Ilin E.V., [2]Bronnikov D.V., [2]Ageev P.A., [2]Anisimov S.A.

[1]MAI, Moscow, Russia

[2]V. Tikhomirov Scientific Research Institute of Instrument Design, Zhukovsky, Russia

The chemical industry has developed and is producing a number of aviation coating materials intended for painting radiotransparent radomes of aircrafts. For some materials, the technical specifications contains requirements for the values of dielectric constant Dk and dielectric loss tangent Dt, which must be controlled during production. However, it is necessary to return to the study of the electrophysical characteristics of such materials for the following reasons:

1. Technical specifications requirements for Dk and Dt are most often given at the frequency of 1 MHz. The information about the characteristics of materials in the UHF, SHF and mm bands of modern on-board radio equipment is not available.

2. These requirements have wide tolerance fields for Dk and Dt.

3. The requirements are given simultaneously for materials of any color. At the same time, pigments can have a significant impact on the properties of coating materials.

4. The technical documentation gives no information about the magnetic properties of coating materials. At the same time, some radiotransparent enamels contain ferrum oxide pigments that can exhibit a ferromagnetic nature.

5. Modern radio measuring devices make it possible to build systems providing high-precision measurement of Dk and Dt in wide frequency bandwidth.

6. In recent decades, commercial highly-sophisticated software packages of full-wave electromagnetic simulation have been developed, which accounts the electromagnetic properties of the paint coating.

7. The characteristics of modern printed antennas integrated into the aircraft fuselage skinning depend on the parameters of the paintwork to a much greater extent than the characteristics of radioparent radomes.

8. Requirements for the radio performance of radomes incteases in terms of reducing of radio waves attenuation and radio bearing errors.

9. There are known cases of significant deterioration of the electromagnetic parameters of radomes after their painting in the conditions of mass production of aircraft products.

A set of samples of free films was made from nine enamels of the FP grades based on fluorocopolymers. The results of measuring parameters of the samples using a vector network analyzer and a split cylinder resonator are presented. It is shown that the characteristics of enamels are strongly depends on the type of pigments and fillers used.

Оптимизация числа излучателей конформной антенной решетки летательного аппарата на основе генетического алгоритма

[1]Король Д.Г., [2]Темченко В.С.
[1]«РусИнтелл», [2]МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время важной задачей является разработка и создание невыступающих конформных антенных решеток (АР), интегрированных в корпус летательного аппарата (ЛА), включая малые беспилотные БПЛА, используемых для проведения радиоразведки и доставку грузов на заданный объект. Такие АР имеют преимущества при формировании луча в секторе сканирования (при необходимости до 360 градусов), при увеличении эффективной апертуры и улучшение аэродинамических характеристик ЛА.

В работе в качестве излучателя конформной АР используется печатный излучатель, так как он легко принимает форму выпуклой поверхности, имеет минимальную массу, высокую надежность, дешев в изготовлении и хорошо встраивается в печатные платы, оптимальный вариант для практического выполнения такой антенны предлагаются [1].

Для разработки невыступающих конформных ФАР в ряде случаев используют цилиндрические [1, 2] и конические [3] структуры. Такие антенны имеют большое число излучателей и ставиться задача уменьшения числа излучателей с минимальным изменением их характеристик. Для ее решения используются алгоритмы глобальной оптимизации, в частности генетический алгоритм.

На основе программы CST Microwave studio был проведен синтез конформной АР, имеющей форму цилиндра сопряженная с конусом. Основным элементом микрополосковой АР является излучатель с линейной поляризацией, рассчитанный на частоту 3 ГГц. Первоначально антенная решетка состояла из 32 элементов: 3 ряда по 8 элементов на цилиндре и 1 ряд на конусе. Оптимизация с помощью встроенного в CST Microwave studio генетического алгоритма позволила уменьшить число элементов в рядах на цилиндре до 7. При этом общее число элементов стало равным 29, а характеристики направленности и характеристики коэффициента отражения сохранились прежними.

1. Yan, Y., Jiao, Y., & Zhang, W. (2018). Design of an X-band Antenna on Airborne Craft with Omnidirection Radiation. 2018 12th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory (ISAPE).

2. Soily, S., Mazumder, R. K., & Ali, K. (2015). Design and simulation of two conformal arrays with dual patch and quadruple patch antenna elements. 2015 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA).

3. Yao, Q., Wang, T., Liu, Y., & Liu, J. (2018). Research of Conical Conformal Array Antenna Based on Hybrid Algorithm. 2018 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT).

Optimisation of number of radiators conformal antenna array of aircraft on the basis of genetic algorithm

[1]Korol D.G., [2]Temchenko V.S.
[1]«RusIntell», [2]MAI, Moscow, Russia

Now working out and creation by the important problem low-profile is as a conformal phased antenna arrays (CPAA), integrated the flying machine case (MC), including small unmanned aerial vehicle (UAV), used for carrying out radio intelligence and delivery of goods to the selected object. Such CPAA have advantages at beam formation in scanning sector (up to 360 degrees if required), at increase in the effective aperture and improvement of aerodynamic characteristics MC.

In work as a radiator CPAA of printed-circuit radiators as it easily takes the form of a convex surface is used, has the minimum weight, high reliability, is cheap in manufacturing and is well built in printed-circuit boards, optimum variant for practical implementation of such an antenna are offered [1].

For working out not acting CPAA in some cases use cylindrical [1, 2] and conic [3] structures.Such aerials have the big number of radiators and be solved problem should of reduction of number of radiators with the minimum change of their characteristics. To solve it, global optimization algorithms are used, in particular genetic algorithm

Based on the CST Microwave studio program, a CPAA was synthesized in the form of a cylinder conjugated with a cone. Basic element microstrip CPAA is the radiator with the linear polarisation, 3 GHz calculated on frequency. Initially, the antenna array consisted of 32 elements: 3 rows of 8 elements on the cylinder and 1 row on the cone. Optimization using the genetic algorithm built into CST Microwave studio allowed to reduce the number of elements in rows on the cylinder to 7. Thus the general number of elements became equal 29, and characteristics directional and characteristics reflection coefficient have remained the former.

1. Yan, Y., Jiao, Y., & Zhang, W. (2018). Design of an X-band Antenna on Airborne Craft with Omnidirection Radiation. 2018 12th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory (ISAPE).

2. Soily, S., Mazumder, R. K., & Ali, K. (2015). Design and simulation of two conformal arrays with dual patch and quadruple patch antenna elements. 2015 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA).

3. Yao, Q., Wang, T., Liu, Y., & Liu, J. (2018). Research of Conical Conformal Array Antenna Based on Hybrid Algorithm. 2018 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT).

Исследование влияния взаимных помех автомобильных радаров со структурой MIMO

Кофанов А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В связи с проблемами безопасности движения транспортных средств и способов автоматизации управления. В современном мире идет активное развитие и разработка автомобильных радиолокационных станций. Даже в настоящее время множество современных автомобилей оборудовано набором бортовых радиолокационных станций. Данный тренд приводит к увеличению количества радаров на дороге и к актуальности проблемы взаимных активных помех между радиолокационными станциями.

Целью данного исследования является моделирование взаимодействия нескольких MIMO-РЛС [1] и оценка отношения сигнал-помеха/шум в дорожной ситуации.

В данной работе рассмотрена проблема, связанная с увеличением количества транспортных средств, оборудованных РЛС.

Большинство современных MIMO-АРЛС в качестве ЗС используют сигнал, состоящий из последовательности ЛЧМ импульсов с шириной спектра от 150 МГц до 4 ГГц. Число радаров в поле зрения одной машины может достигать до 20, что требует исследования влияния взаимных помех на характеристики обнаружения и оценку параметров окружающих целей.

В работе произведен анализ параметров радара [2] необходимых для обеспечения мониторинга дорожной ситуации и разработана модель взаимодействия нескольких радаров в дорожных условиях.

В ходе работы разработана модель:

1. Формирования ЗС для MIMO-АРЛС, состоящего из 3-х передающих и 4 приемных каналов.
2. Особенности прохождения принятого сигнала через приемный тракт РЛС.
3. Структура цифровой обработки сигнала.
4. Взаимодействие нескольких АРЛС, используя метод Монте-Карло

Выводом данной работы является анализ принципов работы и выбора параметров современных MIMO-АРЛС и модель взаимодействия нескольких АРЛС в дорожных условиях.

Литература:

1. MIMO radar signal processing/ Jian Li, Petre Stoica; Published by John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey.

2. Высокоинформативные РЛС малой дальности/А.Е Ананенков, В.М. Нуждин, В.В. Расторгуев, В.Н. Скосырев/ изд. МАИ, Москва 2018 г.

3. О новых и старых идеях в радиолокации: MIMO РЛС/В.С Черняк.

Mutual interference investigation of MIMO automotive radars

Kofanov A.S.

MAI, Moscow, Russia

In order to issue of driving safety on roads and automotive driving. At the current time, major of companies are developing and producing MIMO automotive radar. Even now a lot of vehicles are equipped with a set of automotive radars. This trend is led to increasing of a number of radars on a road and issue of mutual interference between automotive radars.

The main purpose of this article is modeling of interaction between several MIMO automotive radars in road scenario and estimation of Interference to Noise ratio.

The main issue of the article is a dramatic rising of number vehicles equipped automotive radars on roads.

Major of modern MIMO automotive radars use chirps as a main waveform with a bandwidth from 150 MHz to 4 GHz. At the current time, number of radars on a line-of-sight of one vehicle can be 20. This fact leads us to investigate the radar performance of detection and estimation of target parameters of surround environment.

During the investigation was analyzed parameters of automotive radar [2], which are required to reach a safety environment sensing and vehicles detection. An addition, model of interaction between several radars was developed.

During investigation was developed a model:

1. Waveform generation of MIMO automotive radar, consisted of 3 transmitting and 3 receiving channels.
2. Receiving path propagation.
3. Digital processing of signal
4. Interaction between automotive radar, using Monte-Carlo method.

Conclusion of this work is the analysis of automotive radar work principles and parameters of the MIMO radars. Developed model of mutual interference between several automotive radars.

Высокоточный алгоритм определения дальности между вращающимся по окружности объектом и стационарным излучателем непрерывного сигнала

Красавин Д.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматриваемая в работе система оценки координат передатчика непрерывного сигнала состоит из двух приёмных устройств, расположенных на БПЛА вертолётного типа. Один из передатчиков движение по окружности и может быть закреплён, например, на законцовке лопасти несущего винта. Второй передатчик установлен в центре этой окружности и служит источником опорного сигнала для обработки принимаемого сигнала. Такая система может служить при автоматической посадке БПЛА или при необходимости обнаружить источник некоторого сигнала в пассивном режиме.

Целью моделирования являлось выявление влияния взаиморасположения и взаимоориентации БПЛА и искомого передатчика на точность определения координат передатчика. Координаты передатчика задаются в прямоугольной системе координат с началом координат в точке расположения второго приёмного устройства на борту БПЛА. В качестве исходных данных задаются координаты передатчика, параметры вращения первого

приёмника (радиус описываемой окружности, угловая скорость вращения) и углы ориентации БПЛА (крен, тангаж, рыскание). Ориентация БПЛА учитывается с помощью матриц поворота.

При оценке координат передатчика удобно пользоваться сферической системой координат (дальность, азимут, угол места). Оценка производится с помощью выявления зависимости частоты Доплера от времени в принимаемом сигнале на вращающемся приёмнике.

На основании результатов моделирования можно заключить, что высокоточная оценка координат методом хи квадрат возможна только в случае, когда верно подобраны параметры опорных функций. Сначала при известном направлении вращения приёмника необходимо оценить азимут передатчика по знаку и нулям функции зависимости частоты Доплера от времени принимаемого сигнала. Полученное значение позволит задать смещение для опорных функций.

Далее следует определить угол места цели, что, возможно благодаря изменению амплитуды функции частоты Доплера. Однако, при этом изменяется и проекция линейной скорости вращения приёмника на линию визирования, что влечёт за собой изменение формы зависимости частоты Доплера в принимаемом сигнале, что тоже следует учесть при построении опорных функций. Дальность определяется на третьем этапе, для чего строится семейство опорных функций с учётом полученных данных об азимуте и угле места, а также углов ориентации БПЛА. В этом случае координаты цели могут быть определены с высокой точностью на дальности до 200 м с помощью метода хи-квадрат. В работе приведены зависимости ошибки определения дальности от ошибок при расчёте азимута, угла места и углов ориентации БПЛА, полученные при помощи разработанной модели.

1. Gribanov A. S., Okhotnikov D. A., Bulanov K. Y., “Digital processing of radar signals in the automatic helicopter landing system on a moving platform”, IEEE, 2021.

2. В.И. Шайдаков, "Аэродинамический расчёт вертолёта", изд. МАИ, 1988.

3. Татарский Б.Г., Ясенцев Д.А., «Влияние траекторных нестабильностей на характеристики РЛС с синтезированием апертуры антенны за счёт вращения фазового центра реальной антенны», Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10. № 1. С. 3-9.

Модель оценки координат передатчика непрерывного сигнала винтокрылым летательным аппаратом

Krasavin D.S.

MAI, Moscow, Russia

The system for estimating the coordinates of a continuous signal transmitter considered in the work consists of two receiving devices located on a helicopter-type UAV. One of the transmitters moves in a circle and can be fixed, for example, on the tip of the main rotor blade. The second transmitter is installed in the center of this circle and serves as a reference signal source for processing the received signal. Such a system can serve as an automatic landing of the UAV or, if necessary, detect the source of some signal in the passive mode.

The purpose of the simulation was to identify the influence of the relative position and mutual orientation of the UAV and the desired transmitter on the accuracy of determining the coordinates of the transmitter. The transmitter coordinates are set in a rectangular coordinate system with the origin at the location of the second receiving device on board the UAV. The initial data are the coordinates of the transmitter, the rotation parameters of the first receiver (radius of the circumscribed circle, angular velocity of rotation) and UAV orientation angles (roll, pitch, yaw). UAV orientation is taken into account using rotation matrices.

When estimating the transmitter coordinates, it is convenient to use a spherical coordinate system (range, azimuth, elevation). The assessment is made by identifying the dependence of the Doppler frequency on time in the received signal on a rotating receiver.

Based on the simulation results, it can be concluded that a high-precision chi-square estimation of coordinates is possible only if the parameters of the support functions are correctly selected. First, with a known direction of rotation of the receiver, it is necessary to estimate the transmitter azimuth from the sign and zeros of the function of the dependence of the Doppler frequency on the time of

the received signal. The resulting value will allow you to set the offset for the support functions. The next step is to determine the elevation angle of the target, which is possible due to the change in the amplitude of the Doppler frequency function. However, this also changes the projection of the linear speed of rotation of the receiver on the line of sight, which entails a change in the shape of the dependence of the Doppler frequency in the received signal, which should also be taken into account when constructing the support functions. The range is determined at the third stage, for which a family of support functions is built taking into account the obtained data on the azimuth and elevation, as well as the orientation angles of the UAV. In this case, the target coordinates can be determined with high accuracy at ranges up to 200 m using the chi-square method.

The paper presents the dependencies of the error in determining the range from the errors in calculating the azimuth, elevation and orientation angles of the UAV, obtained using the developed model.

1. Gribanov A. S., Okhotnikov D. A., Bulanov K. Y., “Digital processing of radar signals in the automatic helicopter landing system on a moving platform”, IEEE, 2021.

2. V.I. Shaidakov, "Aerodynamic calculation of a helicopter", ed. MAI, 1988.

3. Tatarsky B.G., Yasentsev D.A., “Influence of trajectory instabilities on the characteristics of radar with antenna aperture synthesis due to rotation of the phase center of a real antenna”, Information-measuring and control systems. 2012. V. 10. No. 1. S. 3-9.

Формирование допустимого конструктивного базиса РЭС

Кузнецов А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

При разработке РЭС, во многих случаях, возникает необходимость учитывать ограничения на масса-габаритные, эксплуатационные и экономические параметры.

Поэтому разработка методики, позволяющей формировать конструктивный базис (КБ) разрабатываемого изделия с учетом заданных ограничений, является актуальной.

В работе рассматривается применение методики формирования допустимого КБ на примере проектирования бортовой РЛС (БРЛС), реализуемой на основе модулей высокой готовности (МВГ).

Применение таких модулей позволяет снизить как себестоимость изделия, так и стоимостные и временные затраты на его разработку.

Методика включает в себя 3 этапа.

• Формирование исходного конструктивного базиса путем покрытие составных частей БРЛС модулями высокой готовности;

• Синтез альтернативных комплектов МВГ, покрывающих составные части БРЛС и определение допустимых комплектов;

• Ранжирование допустимых комплектов МВГ и выбор предпочтительного варианта.

На первом этапе осуществляется формирование исходного КБ путем покрытие составных частей БРЛС модулями высокой готовности. Выбор требуемых модулей осуществляется путем запросов на выборку из базы данных (БД).

На втором этапе на основании сформированного исходного КБ осуществляется синтез альтернативных комплектов модулей, который реализуется с помощью математического аппарата многодольных графов. С помощью параметрического синтеза осуществляется определение значений параметров каждого комплекта МВГ [1,2].

В результате для каждого комплекта МВГ получаем вектор значений параметров, которые характеризуют проектируемую БРЛС по массе, габаритам, суммарной мощности, потребляемой модулями, интенсивности отказов и стоимости модулей.

На основании полученных значений параметров, входящих в вектор и с учетом заданных ограничений на эти параметры определяется множество допустимых комплектов МВГ. Выбор допустимых комплектов, а также оценка значения вектора, характеризующего каждый комплект, осуществляется методом классификационного анализа, реализованного на основе искусственной нейронной сети типа многослойный персептрон [3]. Результатом данного этапа является формирование допустимого конструктивного базиса проектируемой БРЛС.

На третьем этапе выполняется ранжирование допустимых комплектов МВГ и выбор предпочтительного варианта. Ранжирование выходного сигнала персептрона осуществляется с помощью SQL запроса СУБД [4].

Таким образом, предложенная методика, реализованная на основе программного комплекса, обеспечивающего классификацию модулей и включающего в себя базу данных, программный модуль формирования множества альтернативных комплектов МВГ и многослойный персептрон, позволяет, уже на ранних стадиях проектирования, сформировать допустимый конструктивный базис БРЛС , применение которого дает возможность снизить временные и стоимостные затраты на разработку изделия, а также определить комплекты модулей, имеющих минимальные значения основных материальных параметров, и ранжировать их с целью выбора предпочтительного варианта.

Литература:

1. А.Н. Божко, А.Ч. Толпаров, Структурный синтез на элементах с ограниченной сочетаемостью // https://www.metodolog.ru/00562/00562.html (дата обращения: 23.11.2020).

2. А. Джеймс А. Дискретная математика и комбинаторика. - Пер. с англ. — М. "Вильямс", 2004. — 960

3. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс; М.: Вильямс. 2016.

4. ДейтК.Дж. Введение в системы баз данных . М.:Вильямс,2005

Formation of an admissible constructive basis for RES

Kuznetsov A.S.

MAI, Moscow, Russia

When developing RES, in many cases, it becomes necessary to take into account restrictions on weight-dimensional, operational and economic parameters.

Therefore, the development of a methods that makes it possible to form a constructive basis (CB) of a product under development, taking into account the given restrictions, is relevant.

The paper considers the application of the technique for the formation of an acceptable KB on the example of the design of an airborne radar (AR) implemented on the basis of ready-made modules (RMM).

The use of such modules makes it possible to reduce both the cost of the product and the cost and time spent on its development.

The technique includes 3 stages.

• Formation of the initial structural basis by covering the radar components with RMM;

• Synthesis of alternative sets of RMM, covering the components of the radar and determination of acceptable sets;

• Ranking of admissible RMM sets and selection of the preferred option.

At the first stage, the formation of the initial design bureau is carried out by covering the radar components with ready-made modules. The selection of the required modules is carried out by querying the database (DB).

At the second stage, on the basis of the generated initial KB, the synthesis of alternative sets of modules is carried out, which is implemented using the mathematical apparatus of multipartite graphs. With the help of parametric synthesis, the values of the parameters of each set of RMMs are determined [1, 2].

As a result, for each RMM. set, we obtain a vector of parameter values that characterize the designed radar in terms of mass, dimensions, total power consumed by the modules, failure rate and cost of the modules.

Based on the obtained values of the parameters included in the vector and taking into account the given restrictions on these parameters, the set of admissible RMM sets is determined. The choice of valid sets, as well as the evaluation of the value of the vector characterizing each set, is carried out by the method of classification analysis, implemented on the basis of an artificial neural network of the multilayer perceptron type [3]. The result of this stage is the formation of an acceptable constructive basis for the designed radar.

At the third stage, the admissible RMM sets are ranked and the preferred option is selected. Ranging of options for sets of modules is carried out by the value of the output signal of the perceptron using the SQL query of the DBMS [4].

Thus, the proposed technique, implemented on the basis of a software package that provides the classification of modules and includes a database, a software module for generating a variety of alternative sets of RMM and a multilayer perceptron, allows, already at the early stages of design, to form an acceptable structural basis for the radar with the maximum possible use RMM, the use of which makes it possible to reduce the time and cost of developing a product, as well as to determine sets of modules that have the minimum values of the main material parameters, and rank them in order to select the preferred option.

References:

1. A.N. Bozhko, A.CH. Tolparov, Strukturnyj sintez na elementah http://metodolog.ru (23.11.2020).

2. D.Anderson Diskretnaya matematika i kombinatorika. M. : "Vil'yams", 2004.

3. S. Hajkin Nejronnye seti: polnyj kurs; M.: Vil'yams. 2016.

4. K.Deit Vvedenie v sistemy baz dannyh .M.:Vil'yams,2005

Способ посадки БПЛА на неподготовленную поверхность

Лоза В.А., Картуков А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В работе рассматривается система вертикальной посадки беспилотных летальных аппаратов (БПЛА) вертолетного типа на не подготовленную поверхность при различных погодных условиях. При вертикальной посадке БПЛА существующие способы не позволяют совершать уверенную и безопасную посадку в ручном или автоматическом режиме для земной наклонной поверхности или водной на платформе с ограниченными размерами в совокупности с её подвижностью, слабой оптической видимостью в результате тумана и поднимаемых винтами микрочастиц воды.

В данной работе приводится сравнительный анализ следующих систем посадки: радиотехнических, радиомаячных, оптических телевизионных и лазерных.

Радиотехнические системы посадки снабжены либо радиолокаторами, либо радиомаяками. Радиолокаторы имеют сложную и дорогую структуру с низкими удельными показателями. Помехозащищенность таких систем также не высока.

Радиомаячные системы требуют больших материальных и технических затрат и в основном применяются на участках подготовленных взлётно-посадочных площадок (ВПП).

Оптическая телевизионная система посадки БПЛА, по сравнению с радиотехническими и радиомаячными, отличается меньшими габаритами, универсальностью, точностью, но требует подготовленного оператора управления и плохо поддаётся автоматизации. Кроме того, при удалённой или аварийной посадке требуется канал устойчивой радиосвязи.

Предложенная в работе система вертикальной посадки включает малоканальную систему технического зрения, где информация о высоте, углах наклона, скорости снижения БПЛА поступает от малоканального фотоприёмного устройства к системе управления в виде ШИМ напряжений. Малоканальные фотоматрицы позволяют работать с модулированными оптическими сигналами, что повышает скорость обработки поступающей информации и помехоустойчивость всей системы посадки БПЛА.

Лазеры, работающие в синхронном режиме, поочередно излучают в направлении подстилающей поверхности импульсы под углом к вертикальному положению БПЛА. Отражённый сигнал попадает через объектив на матричное четырёхканальное фотоприёмное устройство. Далее сигналы усиливаются, после чего попадают на АЦП. После оцифровки, обработки и анализа на борту принимается решение о дальнейшем изменении в управлении БПЛА.

Предлагаемая система вертикальной посадки БПЛА позволяет совершать её уверенно и безопасно как в ручном, так и автоматическом режиме, как на неровную земную поверхность, так и на подвижную платформу с ограниченными размерами.

UAV landing method on an unprepared surface

Loza V.A., Kartukov A.V.
MAI, Moscow, Russia

The paper considers a vertical landing system for helicopter-type unmanned aerial vehicles (UAVs) on an unprepared surface under various weather conditions. When UAVs are vertically landing, existing methods do not allow for a confident and safe landing in manual or automatic mode for an inclined ground surface or a water platform with limited dimensions, in combination with its mobility, poor optical visibility due to fog and water microparticles lifted by propellers.

This paper provides a comparative analysis of the following landing systems: radio, radio beacon, optical television and laser.

Radio landing systems are equipped with either radars or radio beacons. Radars have a complex and expensive structure with low specific performance. The noise immunity of such systems is also not high.

Radio beacon systems require large material and technical costs and are mainly used on sections of prepared runways (runways).

The optical television landing system of the UAV, in comparison with radio engineering and radio beacons, is smaller in size, versatility, accuracy, but requires a trained control operator and is difficult to automate. In addition, a remote or emergency landing requires a stable radio link.

The vertical landing system proposed in the paper includes a low-channel vision system, where information about the height, inclination angles, and rate of UAV descent comes from a low-channel photodetector to the control system in the form of PWM voltages. Small-channel photomatrices allow you to work with modulated optical signals, which increases the processing speed of incoming information and the noise immunity of the entire UAV landing system.

The lasers operating in the synchronous mode emit pulses one by one in the direction of the underlying surface at an angle to the vertical position of the UAV. The reflected signal enters the matrix four-channel photodetector through the lens. Further, the signals are amplified, after which they fall on the ADC. After digitization, processing and analysis on board, a decision is made on further changes in the control of the UAV.

The proposed UAV vertical landing system allows you to perform it confidently and safely both in manual and automatic modes, both on an uneven ground surface and on a movable platform with limited dimensions.

Метод двухэтапной калибровки АФАР

Луковский М.А., Матвеев А.М.
МАИ, г. Москва, Россия

Решение комплекса проблем, связанных с калибровкой каналов активной фазированной антенной решетки (АФАР) для выполнения целевых задач моноимпульсной радиолокации, является актуальной задачей с позиции повышения эффективности применения методов калибровки [1].

Авторами проведен обзор и сравнительный анализ ряда известных методов калибровки, актуальных для АФАР [2]:

- Бесфазовые: (REV, MTE, Сораса, Левита, Корреляционный) [3].
- Адаптивные: (Music, Кейпона, SMI, LMS, Квази-Ньютона) [4].
- Автокалибровочные: (Фридландер-Вайса, Ванга Кедзоу, Эстели-Свиндлехарста-Оттерсона).

В результате проведенного обзора отмечен общий основной недостаток рассмотренных методов калибровки, который заключается в отсутствии способа устранения рассогласования временной канальной задержки, затухания сигналов, канальных шумов и различных природных шумов.

Для решения вышеуказанного недостатка предложен алгоритм определения и устранения амплитудных и фазовых нестабильностей в аналоговой и цифровой части АФАР, использующий двухэтапный метод калибровки на основе средств цифровой обработки сигналов (ЦОС).

Данный алгоритм состоит из двух основных видов измерений, по результатам которых осуществляется введение поправок в сигнальные характеристики АФАР:

1 этап: Измеряются ДН от каждого отдельного излучателя с переходом от одного к другому по всей решетке и результаты измерений сравниваются с эталонной характеристикой. В случае присутствия рассогласования выше заданного порога осуществляется переход ко второму этапу метода.

2 этап: Измеряются фазово-частотные (ФЧХ), амплитудно-частотные (АЧХ)характеристики каналов ППМ без учета излучателя и проводится калибровка каналов ППМ, заключающаяся в компенсации дрейфов характеристик ППМ по результатам измерений.

Основной принцип алгоритма калибровки второго этапа:

а) калибровка радиолиний от ППМ к излучателям (компенсация последствий температурных дрейфов параметров, временной деградации элементов;

б) калибровка каналов ППМ (введение поправочных коэффициентов АЧХ и ФЧХ каналов).

Преимущество предлагаемого метода калибровки видится в определении и устранении фазовых и амплитудных нестабильностей, а также ошибок управления в аналоговой и цифровой части радара с АФАР, использующий двухэтапный метод калибровки на основе ЦОС:

• Аналоговая часть: измеряются критические параметры радиолиний (канал передачи выходного сигнала, с выхода ППМ до излучателя).

• Цифровая часть: в приемно-передающих каналах ППМ измеряются АЧХ и ФЧХ, также выполняется устранение ошибок в цифровых каналах управления аттенюаторов и фазовращателей.

Двухэтапный способ калибровки полностью отработан и апробирован при калибровке радара с АФАР Х-диапазона на предприятии АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина».

Литература:

1. Воскресенский Д.И., Канащенков А.П. Активные фазированные антенные решетки. Радиотехника. 2004. 488 с.

2. Луковский М.А, Матвеев А.М. Сравнительный анализ методов калибровки каналов сигналов антенн моноимпульсной радиолокации. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2022. №6. https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.6.5.

3. Sorace R. Phased array calibration. Proceedings of the IEEE International Conference on Phased Array Systems and Technology. 2000. P.533-536. https://doi.org/10.1109/PAST.2000.859013.

4. Friedlander B., Weiss A.J. Direction finding in the presence of mutual coupling. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1991. V.39. №3. P.273-284.

Method two-stage calibration APAA

Lukovsky M.A., Matveev A.M.

MAI, Moscow, Russia

The solution of a complex of problems related to the calibration of channels of an active phased array antenna (APAA) to fulfill the objectives of monopulse radar is an urgent task from the standpoint of increasing the efficiency of the application of calibration methods.

The authors conducted a review and comparative analysis of a number of known calibration methods relevant for APAA [1]:

• Phase-free methods: (REV, MTE, Sorace, Levitt, Correlation).

• Adaptive methods: (Music, Capon, SMI, LMS, Quasi-Newton).

• Auto-calibration methods: (Friedlander-Weiss, Wang Kedzou, Esteli-Svindlehurst-Otterson).

As a result of the review, the general main drawback of the considered calibration methods is noted, which consists in the absence of a way to eliminate the mismatch of the time channel delay, signal attenuation, channel noise and various natural noises.

To solve the above drawback, an algorithm is proposed for determining and eliminating amplitude and phase instabilities in the analog and digital parts of the APAA, using a two-stage calibration method based on digital signal processing (DSP).

This algorithm consists of two main types of measurements, according to the results of which corrections are made to the APAA signal characteristics:

Step 1: The DP from each individual emitter is measured with a transition from one to another across the entire grid and the measurement results are compared with the reference characteristic. If there is a mismatch above the specified threshold, the transition to the second stage of the method is carried out.

Step 2: Phase-frequency (frequency response), amplitude-frequency (frequency response) are measured characteristics of the PPM channels without taking into account the emitter and calibration of the PPM channels is carried out, which consists in compensating for the drifts of the PPM characteristics based on the measurement results.

The basic principle of the calibration algorithm of the second stage:

a) calibration of radio lines from the PM to the emitters (compensation of the consequences of temperature drifts of parameters, temporary degradation of elements;

b) calibration of PPM channels (introduction of correction coefficients of frequency response and frequency response channels).

The advantage of the proposed calibration method is seen in the determination and elimination of phase and amplitude instabilities, as well as control errors in the analog and digital parts of the radar with APAA, using a two-stage calibration method based on DSP:

• Analog part: the critical parameters of the radio lines are measured (the channel of transmission of the output signal, from the output of the PPM to the emitter).

• Digital part: frequency response and frequency response are measured in the receiving and transmitting channels of the PPM, errors are also eliminated in the digital control channels of attenuators and phase shifters.

The two-stage calibration method has been fully worked out and tested when calibrating the radar with the X-band APAA at the enterprise of A.I. Shokin NPP Istok JSC.

References:

1. Lukovsky M.A., Matveev A.M. Comparative analysis of methods for calibration of signal channels of monopulse radar antennas. Journal of Radio Electronics [electronic journal]. 2022. No. 6. https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020 .6.5.

Методы повышения качества корпусирования современных сверхбольших интегральных схем

Назаров А.В., Салямов Р.Х., Смирнов К.К.
МАИ, г. Москва, Россия

Характерной особенностью современных СБИС, широко используемых в космической электронной аппаратуре, является то, что периферийный элемент кристалла СБИС имеет ограниченную нагрузочную способность [1]. В этих условиях постоянной тенденцией становится растущая из года в год доля контактов земли/питания в периферии СБИС, а её корпус превращается в сложный электронный прибор. В результате значительно усложняется задача корпусирования СБИС, требования к качеству, которого только растут [2]. В докладе проведён критический анализ особенностей типичных конструктивных решений корпусирования СБИС, учитывающий уровень технического развития, назначения и условий применения СБИС.

Определены наиболее критические особенности, влияющие на характеристики и качество СБИС. Приведены методы испытаний, дающие сравнительные оценки конструктивных решений корпусирования, а именно позволяющие оценить внутренние и внешние межсоединения с позиций технического уровня и качества СБИС [3], способности корпуса отводить тепло, целостности конструкции и стойкости к технологическим факторам.

Полученные результаты могут служить рекомендациями при выборе конструктивного решения корпусирования в зависимости от уровня технического развития, назначения и условий применения.

Литература:

1. Смирнов К. К., Сухов А. Г., Цимбалов А. С. Проблемы проведения испытаний микросхем в металлополимерных корпусах типа BGA. М.: Труды МАИ, 2017, выпуск 93.
2. Кизеев С. А., Смирнов К. Конструктивные и технологические решения, применяемые при разработке и изготовлении современных СБИС. - М.: Труды НИИСИ РАН, т.7, № 2. 2017. С.50-57.
3. Амирханов А.В., Волков С.И., Кизиев С.А., Макарчук В.В., Салямов Р.Х., Сухов А.Г. Методы оценки качества конструктивных решений, применяемых в современных СБИС. – научно технический журнал Наноиндустрия. Спецвыпуск 2017 (74). С.366-377.

Methods for improving the quality of packaging of modern ultra-large-scale integrated circuits

Nazarov A.V., Salyamov R.H., Smirnov K.K.
MAI, Moscow, Russia

A characteristic feature of modern VLSI, widely used in space electronic equipment, is that the peripheral elements of the VLSI crystal have a limited load capacity [1]. Under these conditions, the growing share of ground / power contacts in the VLSI periphery becomes a constant trend from year to year, and its case turns into a complex electronic device. As a result, the task of VLSI packaging becomes much more complicated, the quality requirements of which are only growing [2]. The report contains a critical analysis of the features of typical design solutions for VLSI packaging, taking into account the level of technical development, purpose and conditions of VLSI application.

The most critical features that affect the characteristics and quality of VLSI are determined. Test methods are given that give comparative assessments of the design solutions of the enclosure, which allowing to evaluate the internal and external interconnections from the standpoint of the technical level and quality of the VLSI [3], the ability of the enclosure to remove heat, the integrity of the structure and resistance to technological factors.

The results obtained can serve as recommendations when choosing a structural solution for packaging, depending on the level of technical development, purpose and conditions of use.

References:

1. Smirnov K. K., Sukhov A. G., Tsimbalov A. S. Problems of testing microcircuits in BGA-type metal-polymer packages. M.: Proceedings of the MAI, 2017, issue 93.
2. Kizeev S. A., Smirnov K. Structural and technological solutions used in the development and manufacture of modern VLSI. - M.: Proceedings of NIISI RAS, v.7, No. 2. 2017. P.50-57.
3. Amirkhanov A.V., Volkov S.I., Kiziev S.A., Makarchuk V.V., Salyamov R.Kh., Sukhov A.G. Methods for assessing the quality of design solutions used in modern VLSI. – scientific and technical journal Nano industry. Special issue 2017 (74). S.366-377.

Широкоугольная фазированная антенная решетка на основе комплексирования с метаповерхностью

Подберезный А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время к радиоэлектронным средствам предъявляется все более строгие требования, такие как увеличение скорости передачи данных, работа в двух– и более частотном режиме, снижение массогабаритных характеристик и др. Так как антенные устройства являются неотъемлемой частью радиоэлектронных устройств, то возникает необходимость искать новые способы улучшения антенных характеристик, в частности достижение широкоугольного сканирования вплоть от -70 до +70 градусов.

Кратко обсуждаются методы построения широкоугольных сканирующих плоских антенных систем на основе: реконфигурация диаграммы направленности элемента, расширения диаграммы направленности элемента и улучшения согласования элементов АР. Рассмотрены технические решения реализации АР для каждого из методов [1].

В работе выбран метод и техническое решение реализации широкоугольного сканирования на основе комплексирования с метаповерхностью. Антенная система состоит из совокупности излучателей, в качестве которых выбрана патч антенны, и метаповерхности, представляющей

диэлектрическую подложку, на которой расположена периодическая структура элементов с различной геометрией и формой (pixel layer) [2]. Обоснован выбор структуры и параметров метаповерхности. Элементы периодической структуры соединяются между собой коммутаторами на основе pin-диодов или варакторов, что позволяет, меняя состояние коммутаторов, управлять распределением токов на метаповерхности, а, следовательно, управлять формой диаграммы направленности в зависимости от угловых координат главного максимума луча при сканировании. Необходимое состояние коммутаторов определяется из решения оптимизационной задачи с помощью многозадачных методов оптимизации.

Проведено электродинамическое моделирование сканирующих свойств ФАР NxM (согласование, диаграммы направленности, коэффициент усиления). Получено в главных и диагональных плоскостях в секторе сканирования от -70 до +70 градусов изменение коэффициента усиления антенной решетки составило не более -3 дБ и УБЛ менее -10 дБ).

Фазированная антенная решетка на основе комплексирования с адаптивно перестраиваемой метаповерхностью – перспективный техническое решение для реализации широкоугольного сканирования в диапазоне -70 до +70 градусов с изменением коэффициента усиления АР не более -3 дБ и УБЛ менее -9 дБ.

Литература:

1. Ahn B-K., Hwang In-J., Kim K-S., et.al. Wide-angle scanning phased array antenna using high gain pattern reconfigurable antenna elements // Scientific Reports. 2019.

2. Rodrigo D, Jofre L., Cetiner B. A. Frequency, radiation pattern and polarization reconfigurable antenna using a parasitic pixel layer//IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2014. V. 62. №6. P. 3422–3427.

3. Cheng Y-F., Ding X., Shao W., et.al. 2-D planar wide-angle scanning phased array based on wide-beam elements // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2016. P.1536-1225.

Wide-angle phased array antenna based on the complexing with metasurfaces

Podberezniy A.V.
MAI, Moscow, Russia

Currently, more and more stringent requirements are being imposed on radio–electronic means, such as increasing the data transfer rate, working in two or more frequency modes, reducing weight and size characteristics, etc. Since antenna devices are an integral part of radio electronic devices, it becomes necessary to look for new ways to improve antenna characteristics, in particular, achieving wide-angle scanning up to -70 to +70 degrees.

The methods of constructing wide-angle scanning flat antenna systems based on: reconfiguration of the radiation pattern of the element, expansion of the radiation pattern of the element and improvement of the alignment of the AR elements are briefly discussed. Technical solutions for the implementation of AR for each of the methods are considered [1].

In this paper, a method and a technical solution for the implementation of wide-angle scanning based on integration with a metasurface are selected. The antenna system consists of a set of emitters, for which an antenna patch is selected, and a metasurface representing a dielectric substrate on which a periodic structure of elements with different geometries and shapes (pixel layer) is located [2]. The choice of the metasurface structure and parameters is justified. The elements of the periodic structure are interconnected by switches based on pin diodes or varactors, which makes it possible, by changing the state of the switches, to control the distribution of currents on the metasurface, and, consequently, to control the shape of the radiation pattern depending on the angular coordinates of the main maximum of the beam during scanning. The required state of the switches is determined from the solution of the optimization problem using multitasking optimization methods.

Electrodynamic modeling of the scanning properties of NxM headlamps (alignment, radiation patterns, gain) was carried out. It was obtained in the main and diagonal planes in the scanning sector from -70 to +70 degrees, the change in the gain of the antenna array was no more than -3 dB and the loss was less than -10 dB).

A phased array antenna based on integration with an adaptively tunable metasurface is a promising technical solution for the implementation of wide–angle scanning in the range of -70 to +70 degrees with a change in the gain of AR no more than -3 dB and UB less than -9 dB.

References:

1. Ahn B-K., Hwang In-J., Kim K-S., et.al. Wide-angle scanning phased array antenna using high gain pattern reconfigurable antenna elements // Scientific Reports. 2019.

2. Rodrigo D, Jofre L., Cetiner B. A. Frequency, radiation pattern and polarization reconfigurable antenna using a parasitic pixel layer//IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2014. V. 62. №6. P. 3422–3427.

3. Cheng Y-F., Ding X., Shao W., et.al. 2-D planar wide-angle scanning phased array based on wide-beam elements // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2016. P.1536-1225.

Многолучевая антенная система для мобильного терминала высокоскоростной спутниковой связи

[1]Рогозин Р.Е., [1]Пастернак Ю.Г., [2]Пендюрин В.А.

[1]ВГТУ, [2]АО НПП «Автоматизированные системы связи», г. Воронеж, Россия

Постоянно растущие требования к мобильным терминалам высокоскоростной спутниковой связи обусловлены: растущими требованиями к повышению скорости и надежности передачи информации; необходимостью их размещения на подвижном транспорте (на крышах автомобилей или железнодорожных вагонов, на борту морского судна или летательного аппарата). Поэтому к разрабатываемым антенным системам предъявляют следующие требования: они должны иметь компактные размеры без выступающих частей антенного обтекателя, обладать небольшой массой, иметь возможность формирования большого числа лепестков диаграммы направленности (ДН), иметь доступную стоимость.

В тех случаях, когда фактор стоимости имеет меньшее значение, в наибольшей степени перечисленным требованиям удовлетворяют многолучевые антенные системы на основе различных модификаций линз Люнеберга. Для повышения коэффициента направленного действия используют антенные решетки из линз Люнеберга. Примеры таких антенных систем приведены в [1-2]. Однако данные технические решения имеют следующий недостаток – достаточно высокий уровень боковых лепестков (УБЛ), который может превышать величину -13.2 дБ (УБЛ синфазного и равноамплитудного раскрыва). Это связано с тем, что размеры элементов прореженных антенных решеток существенно (в 10 и более раз) превышают длину волны в свободном пространстве.

В работе предложен способ уменьшения УБЛ в линейной антенной решетки, состоящей из пересекающихся между собою соседних осесимметричных линзовых элементов (нерегулярная линза). Благодаря данному техническому решению, каждый облучатель облучает не только усеченную линзу, напротив которой он расположен, но и соседние усеченные линзы. Это позволяет реализовать практически синфазное и равноамплитудное распределение в раскрыве антенной системы, и снизить УБЛ до -13.2 дБ. Усеченные осесимметричные линзовые элементы могут состоять как из однородного диэлектрика, так и из диэлектрика с изменяющейся диэлектрической проницаемостью (усеченные линзы Люнеберга) [3].

В работе представлены результаты численного моделирования для нерегулярной линзы, изготовленной из однородного диэлектрика, а также на основе усеченных линз Люнеберга, напечатанных на 3D-принтере. Результаты численного моделирования подтвердили достоверность теоретических предположений. Нерегулярная линза, состоящая из напечатанных на 3D-принтере линз Люнеберга, обладает лучшими направленными характеристиками, а также меньшей массой, по сравнению нерегулярной линзой из однородного диэлектрика.

Литература:

1. Lens arrays configurations for improved signal performance // Patent No.: US 2021/0167514 A1, 03.06.2021. / Matitsine S., Matytsine L., DeMarco A.

2. Spherical lens array based multi-beam antennae // Patent No.: US 10.326.208 B2, 18.06.2019 / Matitsine S., Matytsine L., DeMarco A.

3. Нерегулярная линза и многолучевая антенная система с двумя ортогональными поляризациями на ее основе // Патент RU 2 765 570 C1, 09.02.2021. / Пастернак Ю.Г., Пендюрин В.А., Рогозин Р.Е.

Multibeam Antenna System for High Speed Satellite Mobile Terminal

[1]Rogozin R.E., [1]Pasternak Y.G., [2]Pendyurin V.A.

[1]VSTU, [2]JSC «Automated communication systems», Voronezh, Russia

Constantly growing requirements for mobile terminals of high-speed satellite communications are due to: growing requirements for increasing the speed and reliability of information transmission; the need to place them on mobile vehicles (on the roofs of cars or railway cars, on board a ship or aircraft). Therefore, the following requirements are imposed on the developed antenna systems: they must have compact dimensions without protruding parts of the antenna radome, have a small mass, be able to form a large number of lobes of the radiation pattern (RP), and have an affordable cost.

In those cases where the cost factor is less important, the above requirements are met to the greatest extent by multibeam antenna systems based on various modifications of the Luneberg lenses. To increase the directivity, antenna arrays of Luneberg lenses are used. Examples of such antenna systems are given in [1-2]. However, these technical solutions have the following drawback - a rather high level of side lobes (SBL), which can exceed the value of -13.2 dB (SBL of common-mode and equal-amplitude opening). This is because the dimensions of the elements of thinned antenna arrays significantly (by 10 or more times) exceed the wavelength in free space.

The paper proposes a method for reducing the LBL in a linear antenna array consisting of adjacent axisymmetric lens elements intersecting each other (irregular lens). Thanks to this technical solution, each irradiator irradiates not only the truncated lens opposite which it is located, but also adjacent truncated lenses. This makes it possible to implement an almost in-phase and equal-amplitude distribution in the aperture of the antenna system, and to reduce the NBL to -13.2 dB. Truncated axisymmetric lens elements can consist of both a homogeneous dielectric and a dielectric with varying permittivity (truncated Luneberg lenses) [3].

The paper presents the results of numerical simulation for an irregular lens made of a homogeneous dielectric, as well as based on truncated Luneberg lenses printed on a 3D printer. The results of numerical simulation confirmed the validity of the theoretical assumptions. An irregular lens composed of 3D printed Luneberg lenses has better directional characteristics as well as a lower mass than an irregular lens made of a homogeneous dielectric.

References:

1. Lens arrays configurations for improved signal performance // Patent No.: US 2021/0167514 A1, 03.06.2021. / Matitsine S., Matytsine L., DeMarco A.

2. Spherical lens array based multi-beam antennae // Patent No.: US 10.326.208 B2, 18.06.2019 / Matitsine S., Matytsine L., DeMarco A.

3. Irregular lens and a multibeam antenna system with two orthogonal // Patent RU 2 765 570 C1, 09.02.2021. / Pasternak Y.G., Pendyurin V.A., Rogozin R.E.

Метод автоматизированной калибровки передатчика РЛС малой дальности

Руденко Е.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Для обеспечения высокой разрешающей способности и однозначно измеряемой дальности необходимо сокращать время перестройки импульсов. Одним из способов сокращения времени перестройки импульсов является создание “комбинированного генератора”, который включает в себя генератор, построенный на петле фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), синтезатора прямого цифрового синтеза (СЦПС) и квадратурного модулятора. При их совместном использовании по ряду причин во входных каналах смесителя появляются фазовые рассогласования сигналов СПЦС что приводит к тому, что мощность полезного сигнала может оказаться ниже расчетной, а мощность помеховых составляющих, наоборот,

выше расчетной, что отрицательно скажется на результатах работы прибора, так как уменьшится отношение сигнал/помеха. Фазовая калибровка необходима для компенсации фазовых рассогласований в передатчике РЛС, при этом автоматизация процесса калибровки сильно сокращает трудоемкость и время необходимое на проведение калибровки.

Целью калибровки является обеспечение желаемого соотношения гармоник (SFDR) в приемном тракте за счет выбора таких параметров синтезатора, которые обеспечивают максимум мощности полезного сигнала и минимум мощности опорного и зеркального сигналов. В ходе исследования была выявлена серьезная зависимость между уровнем SFDR передатчика и SFDR приемника, что позволяет определить SFDR передатчика целевым параметром калибровки. Для реализации идеи метода автоматизированной калибровки разработан алгоритм замкнутой следящей системы в составе: дискриминатора, экстраполятора и синтезатора. Дискриминатором в данном алгоритме будет служить функция, вычисляющая целевой параметр, экстраполятором – выбранный одномерный метод оптимизации «золотое сечение», синтезатором – передатчик РЛС. Для практической проверки работоспособности разработанного метода автоматизированной калибровки в сравнении с известным практикуемым методом ручной калибровки предложен и реализован вариант построения стенда калибровки с использованием макета РЛС малой дальности.

Как показали результаты эксперимента до калибровки разница между основной частотой и побочными гармониками на некоторых частотах могла достигать значения в 6 дБ. После калибровки уровень SFDR зондирующего сигнала стал не ниже 30 дБ, при этом, на частоте, несущей 1300 МГц достигнут уровень SFDR 43 дБ, что должно положительно повлиять на уровень SFDR принимаемого сигнала и, в следствии этого, улучшить качество радиолокационного изображения.

В ходе проведения исследования получены результаты, которые показали, что метод автоматизированной калибровки передатчика РЛС малой дальности позволяет обеспечить требуемую точность определения фазовых поправок на всем диапазоне зондирующих частот, при этом, затрачиваемое методом время существенно (на порядок) меньше, чем при использовании ручного метода калибровки достаточно опытным специалистом.

Литература:

1. Гаврилов К.Ю., Игонина Ю.В., Линников О.Н., Панявина Н.С. Информационно-измерительные и управляющие системы / №5 – 2015.

2. Моделирование и обработка радиолокационных сигналов в Matlab. Учеб. пособие / Под ред. К.Ю.Гаврилова. – М.: Радиотехника, 2020.

The method of automatic calibration of a low -range radar transmitter

Rudenko E.V.

MAI, Moscow, Russia

To ensure high resolution and unambiguously measured range, it is necessary to reduce the time of restructuring of pulses. One of the ways to reduce the time for restructuring the pulses is the creation of a “combined generator”, which includes a generator built on the phase automatic reception loop (FAPC), a direct digital synthesis synthesizer (SSPS) and a quadrature module. When they are jointly used for a number of reasons in the input channels of the mixer, phase mismatch of the SPCS signals appear, which leads to the fact that the power of the useful signal may be lower than the calculated, and the replacement components, on the contrary, are higher than the calculated one, which will adversely affect the results of the device, since The signal/interference ratio will decrease. Phase calibration is necessary to compensate for phase mismatchs in the radar transmitter, while automation of the calibration process greatly reduces the complexity and time required for calibration.

The purpose of calibration is to ensure the desired harmonic ratio (SFDR) in the reception of the synthesizer parameters that provide maximum power of the useful signal and the minimum of the power of the reference and mirror signals. During the study, a serious dependence was revealed between the SFDR level of the transmitter and the SFDR of the receiver, which allows you to determine the SFDR of the transmitter with the target calibration parameter. To implement the idea

of the automated calibration method, an algorithm of a closed tracking system in the composition of: discriminator, extrapolator and synthesizer was developed. The discriminator in this algorithm will serve as a function calculating the target parameter, an extrapolator - the selected one -dimensional method of optimization of the “golden section”, the synthesizer - the radar transmitter. To practice the performance of the developed method of automated calibration, in comparison with the well - known practical manual calibration method, the option of building a calibration stand using a low - range radar model is proposed and implemented.

As the results of the experiment before calibration showed the difference between the main frequency and side harmonics at some frequencies could reach a value of 6 dB. After calibration, the SFDR level of the probing signal became not lower than 30 dB, while at a frequency of 1300 MHz, the SFDR 43 dB level has been reached, which should positively affect the SFDR level of the received signal and, as a result, improve the quality of the radar image.

During the study, the results were obtained, which showed that the method of automated calibration of a low -range radar transmitter allows for the required accuracy of determining phase amendments in the entire range of probe frequencies, while the time spent on the method is much less than when using the manual calibration method. A fairly experienced specialist.

References:

1. Gavrilov K.Yu., Igonina Yu.V., Linnikov O.N., Panyavina N.S. Information-measuring and control systems / No. 5-2015.

2. Modeling and processing of radar signals in Matlab. Textbook. manual / Ed. K.Yu. Gavrilova. - M.: Radio Engineering, 2020.

Конструктивные решения при разработке бортовых средств космических систем глобального мониторинга

Семин А.Ю., Плешанов А.Н., Филиппова Д.Р.

АО «НПК «СПП», г. Москва, Россия

Бортовые средства космических систем глобального мониторинга (КСГМ) решают широкий спектр задач, главной задачей является обеспечение обороноспособности страны. Это приводит к предъявлению жестких требований к тактико-техническим характеристикам разрабатываемых средств КГСМ. В число таких требований входят:

- Минимальные массово-габаритные характеристики и минимальное энергопотребление,
- Широкий диапазон регистрируемых сигналов,
- Обеспечение резервирования,
- Импортозамещение.

Изложенные выше факторы приводят к необходимости использования новых конструктивных решений и подходов при разработке бортовых средств КСГМ.

Одним из таких подходов является разработка новых приемников электромагнитного излучения и оптических систем. В основе данного подхода лежит применение четырех микроэлектронных модулей (МЭМ) фотодиодной матрицы (ФДМ) повернутых друг относительно друга под углом 90°, что позволит обеспечить перекрытие всего углового размера Земли. Сигнал от источника излучения формируется на каждом из МЭМ с помощью одного из объективов, рассчитанных исходя из фоточувствительных характеристик МЭМ.

Применение специальных интерференционных покрытий на соответствующих линзах объективов обеспечит высокую вероятность обнаружения сигнала в заданном спектральном диапазоне.

Литература:

1. Скопинова А.В., Агеев Ю.Д., Плешанов А.Н., Бондаренко Д.А., Кузьмина В.И. Расчетная модель многоканального регистратора оптических сигналов из состава бортового сегмента информационно-измерительных систем // Системы контроля, испытаний и управления космическими средствами: сб. науч. тр. / Войсковая часть 32103. – Краснознаменск, 2021. – Вып. 65, с. С. 53 – 60.

Constructive solutions in the development of onboard facilities for space systems of global monitoring

Semin A.Y., Pleshanov A.N., Filippova D.R.
JSC "SPC "PIS", Moscow, Russia

Onboard facilities of global monitoring space systems (GMSS) solve a wide range of tasks, the main task is to ensure the country's defense capability. This leads to the presentation of stringent requirements for the performance characteristics of the developed means of GMSS. These requirements include:

- Minimum mass-dimensional characteristics and minimum power consumption,
- A wide range of recorded signals,
- Provision of redundancy,
- Import substitution.

The factors outlined above lead to the need to use new design solutions and approaches in the development of onboard KSGM facilities.

One such approach is the development of new electromagnetic radiation receivers and optical systems. This approach is based on the use of four microelectronic modules (MEMs) of a photodiode array (PDA) rotated relative to each other at an angle of 90°, which will ensure coverage of the entire angular size of the Earth. The signal from the radiation source is formed on each of the MEMs using one of the lenses calculated based on the photosensitive characteristics of the MEMs.

The use of special interference coatings on the corresponding objective lenses will provide a high probability of signal detection in a given spectral range.

References:

Skopinova A.V., Ageev Yu.D., Pleshanov A.N., Bondarenko D.A., Kuzmina V.I. Calculation model of a multichannel optical signal recorder from the composition of the onboard segment of information-measuring systems // Systems of control, testing and control of space facilities: collection of articles. scientific tr. / Military unit 32103. - Krasnoznamensk, 2021. - Issue. 65, p. pp. 53 - 60.

Квази-логопериодическая дипольная антенна с микрополосковым питанием для широкополосных ФАР

[1]Сидоренко С.С., [2]Богачев И.А., [2]Стукалов М.А., [1]Гринёв А.Ю., [2]Демшевский В.В.
[1]МАИ, г. Москва, Россия
[2]АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино, Россия

Создание многофункциональных сканирующих антенных систем (АС) связано с необходимостью выполнения комплекса жёстких требований, предъявляемых как к электрическим характеристикам АС, так и к конструктивным параметрам, включая габариты и массу. Не углубляясь в весь спектр проблем, отметим только одну, – разработку принципов построения и технических решений, построения широкополосных излучающих антенных систем (полотна) с электронным управлением лучом для многофункциональных комплексов. Отметим более конкретно некоторые направления.

В настоящее время начинает активно применяться модульный принцип построения аппаратуры, при котором за основу берется унифицированный элемент, в ФАР (АФАР) обычно это блок подрешетки, и на его основе строится требуемая апертура антенного устройства. В связи с этим приобретает актуальность разработки таких унифицированных блоков подрешёток, которые будут обеспечивать потребности РЛС различного назначения в S, C, X, Ku диапазонах частот. Унификация блоков подрешеток, например, (2-4) ГГц, (4-8) ГГц, (8-12) ГГц, позволит производить модернизацию путем замены блоков с минимальными изменениями сопутствующей аппаратуры, существенно снизить стоимость изделий, а также повысить технологичность производства. Авиационные радарные комплексы существенно расширяют свои функциональные возможности при использовании двухчастотных антенных систем с различными сочетаниями в S, C, X, Ku диапазонах частот, для чего при одном из подходов необходимы широкополосные или двухдиапазонные излучатели, объединённые с

полосно-пропускающими СВЧ фильтрами в каждом элементе или диплексерными устройствами.

Цель работы: построение электродинамической модели, численное моделирование и анализ характеристик квази-логопериодического дипольного излучателя с микрополосковым питанием для использования в широкополосных ФАР

Quasi-logoperiodic dipole antenna with microstrip power for broadband ESA

[1]Sidorenko S.S., [2]Bogachev I.A., [2]Stukalov M.A., [1]Grinev A.I., [2]Demshevsky V.V.
[1]MAI, Moscow, Russia
[2]JSC "RPC "Istok" named after Shokin", Fryazino, Russia

The creation of multifunctional scanning antenna systems (AS) is associated with the need to fulfill a set of strict requirements for both the electrical characteristics of the AS and the design parameters, including dimensions and weight. Without delving into the whole spectrum of problems, we note only one – the development of principles of construction and technical solutions, the construction of broadband radiating antenna systems (canvases) with electronic beam control for multifunctional complexes. Let's note more specifically some directions.

Currently, the modular principle of constructing an antenna is beginning to be actively applied, in which a unified element is taken as a basis, in the ESA (AESA) it is usually a sublattice block, and the required aperture of the antenna device is built on its basis. In this regard, it becomes urgent to develop such unified array blocks that will meet the needs of radar for various purposes in the S, C, X, Ku frequency ranges. Unification of sublattice blocks, for example, (2-4) GHz, (4-8) GHz, (8-12) GHz, will allow for modernization by replacing blocks with minimal changes in related equipment, significantly reduce the cost of products, as well as increase the manufacturability of production. Aviation radar complexes significantly expand their functionality when using dual-frequency antenna systems with various combinations in the S, C, X, Ku frequency bands, for which one of the approaches requires broadband or dual-band emitters combined with band-pass microwave filters in each element or diplexer devices.

The purpose of the work: construction of an electrodynamic model, numerical modeling and analysis of the characteristics of a quasi-logoperiodic dipole emitter with microstrip power for use in broadband ESA.

Методика расчета зоны радиовидимости для радиолинии СВЧ диапазона "БЛА НПУ" с учетом рельефа земной поверхности

[1]Смердов Н.С., [2]Бельский А.Б., [2]Чобан В.М., [2]Прядкин С.П.
НЦВ Миль и Камов, р.п. Томилино, Россия

В беспилотной авиации вопросам планирования полетов и непрерывности управления уделяется большое внимание, так это обеспечивает безопасность полетов. Отсутствие радиосвязи может привести к полной потере контроля над аппаратом. Существующие алгоритмы расчета зоны радиовидимости ориентированы на построение зоны вдоль прямой у поверхности Земли, в интересах организации радиоканала "точка-точка" с заданным выносом антенн. Для командно-информационного взаимодействия по радиолинии беспилотный летательный аппарат (БЛА) – наземный пункт управления (НПУ), либо вертолет-БЛА требуется построить не плоскую (вертикальная плоскость радиолуча), а пространственную зону радиовидимости. Это требование связано с возможностью планирования профиля полета и эшелона высот БЛА и вертолета.

Существующий итерационно-этапный подход к построению зоны радиовидимости основан на эмпирическом подходе, ввиду резкого увеличения вычислительных ресурсов при удаленном управлении БЛА в условиях реального времени. Требуется построить зоны радиовидимости для линии связи БЛА-НПУ, выполняя маркирование рельфа земной поверности метками открытого, полузакрытого и закрытого интервалов (цветовая разметка). В статье предложена методика и алгоритм расчета зон радиовидимости с открытым, полузакрытым и закрытым интервалами. В Алгоритм построен на основе конформного отображение исходного векторного пространства с помощью аналитической однолистной в

конечной области функции в К-пространство. Такой подход позволяет сделать алгоритм экономным в отношении вычислительных ресурсов и однопроходным, вместе с этим решена задача определения зоны сплошной радиовидимости. Приведена блок схема алгоритма и дана аналитическая оценка точности построения зон.

1. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. – М.: Связь, 1972, 336 с.
2. Морозов В.П. Курс сфероидической геодезии. Изд. 2. М.: Недра, 1979, 296 с.
3. Salomon D. Curves and Surfaces for Computer Graphics. Northridge Springer Science+Business Media, Inc. 2006. 463 p.
4. Лаврентьев М. А. Конформные отображения с приложениями к некоторый вопросам механики. М.: ОГИЗ, 1946, 159 с.
5. Борн Л., Вольф Э. Основы оптики. Изд. 2-е. Пер.англ. М.: «Наука», 1973, 720с.
6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Учебн. для вузов. 5-е изд.стер. М.: Высш.шк., 1998, 576 с.

Methodology for calculating radio vizibility zone of microwave range between the unmanned aerial vehicle and ground control station taking into account the relief of the earth's surface

Smerdov N.S., Belski A.B., Choban V.M., Pryadkin S.P.
NHC Mil&Kamov, Tomilino, Russia

In unmanned aviation, a lot of attention is paid to the issues of flight planning and continuity of management, as this ensures flight safety. The absence of radio communication can lead to a complete loss of control over the device. The existing algorithms for calculating the radio visibility zone are focused on building a zone along a straight line at the Earth's surface, in the interests of organizing a point-to-point radio channel with a given antenna extension. For command and information interaction over the radio line, an unmanned aerial vehicle (UAV) – a ground control station (GCS), or a helicopter–UAV, it is required to build not a flat (vertical plane of the radio beam), but a spatial zone of radio visibility. This requirement is related to the possibility of planning the flight profile and the altitude echelon of the UAV and helicopter.

The existing iterative-step approach to the construction of a radio visibility zone is based on an empirical approach, due to a sharp increase in computing resources for remote control of UAVs in real time. It is required to build radio visibility zones for the UAV-GCS communication line, marking the relief of the Earth's surface with open, semi-closed and closed intervals (color marking). The article proposes a methodology and algorithm for calculating radio visibility zones with open, semi-closed and closed intervals. The algorithm is built on the basis of a conformal mapping of the original vector space using an analytical one-leaf in the finite domain function in K-space. This approach makes it possible to make the algorithm economical in terms of computing resources and single-pass, at the same time the problem of determining the zone of continuous radio visibility is solved. An analytical assessment of the accuracy of the construction of zones is given.

Многоканальный цифровой приемник для исследования алгоритмов слепой обработки сигналов

Тяпкин П.С.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время задача разделения сигналов из смесей с импульсными помехами является актуальной. Современным подходом к решению задачи разделения сигналов является применение методов слепой обработки сигналов, основанные на статистиках высоких порядков.

Для апробации применения методов слепой обработки сигналов при приеме и обработке радиосигналов был разработан многоканальный цифровой приемник.

Приемник реализован на основе концепции программно-определяемого радио: вся основная обработка сигнала осуществляется в цифровой форме, аналоговые тракты приемника состоят из антенного каскада и аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Устройство цифрового приемника включает в себя антенную решетку, состоящую из шести полуволновых диполей, соединенных сфазированными коаксиальными кабелями к плате цифровой обработки

сигналов (ЦОС). Сигнал на выходе платы ЦОС передается на ПК через PCI-Express шину. Плата цифровой обработки сигналов содержит шесть АЦП и программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС). Проект цифровой обработки на ПЛИС включает в себя цифровой гетеродин, реализованный по схеме прямого цифрового синтеза частоты (DDS), обнаружитель сигнала, каскад прореживателей сигнала (для перехода на меньшую частоту дискретизации) и интерфейс PCI-Express для передачи сигнала на ПК. Основная слепая обработка сигналов осуществляется на ПК.

Цифровой приемник был апробирован на реальном сигнале. В качестве информационного сигнала был использован OQPSK-сигнал. В качестве помехи использовался гармонический сигнал, частота которого была установлена равной частоте сигнала. Полученные результаты свидетельствуют о работоспособности цифрового приемника и возможности приема, записи и обработки принятых сигналов. Разработанный приемник будет применяться для последующих исследований применимости слепых методов при разделении сигналов при наличии помех в канале связи.

Multichannel digital receiver for studying blind signal processing algorithms

Tyapkin P.S.
MAI, Moscow, Russia

At present, the problem of separating signals from mixtures with impulse noise is relevant. A modern approach to solving the signal separation problem is the use of blind signal processing methods based on high-order statistics.

A multi-channel digital receiver was developed to test the application of blind signal processing methods for receiving and processing radio signals.

The receiver is implemented on the basis of the concept of software-defined radio: all the main signal processing is carried out in digital form, the analog paths of the receiver consist of an antenna stage and analog-to-digital converters (ADCs). The digital receiver device includes an antenna array consisting of six half-wave dipoles connected by phased coaxial cables to a digital signal processing (DSP) board. The signal at the output of the DSP board is transmitted to the PC via the PCI-Express bus. The digital signal processing board contains six ADCs and a programmable logic integrated circuit (FPGA). The FPGA digital processing project includes a digital local oscillator implemented using a direct digital frequency synthesis (DDS) scheme, a signal detector, a cascade of signal thinners (for switching to a lower sampling frequency), and a PCI-Express interface for signal transmission to a PC. Basic blind signal processing is carried out on a PC.

The digital receiver was tested on a real signal. The OQPSK signal was used as the information signal. A harmonic signal was used as interference, the frequency of which was set equal to the frequency of the signal. The results obtained indicate the operability of the digital receiver and the possibility of receiving, recording and processing the received signals. The developed receiver will be used for subsequent studies of the applicability of blind methods for signal separation in the presence of interference in the communication channel.

5. Ракетные и космические системы

5. Rocket and space systems

Сопоставление экспериментальных и расчетных данных при проектировании АТТ

Антонов В.А., Панин Ю.В., Кадеев Д.М., Сеньшина Т.А., Холяков А.Е.
АО «НПО Лавочкина», г. Химки, Россия

Аксиальные тепловые трубы нашли широкое применение в космической технике для обеспечения заданного теплового режима автоматических станций. АТТ отличаются как технологичностью изготовления, так и относительно небольшой стоимостью. При этом с их помощью можно передавать тепловые потоки до 600 Вт с погонного метра.

В статье рассмотрено сопоставление результатов испытания аксиальных тепловых труб с результатами проектного расчета. В качестве объекта испытаний выбрана АТТ из профиля высотой 8 мм, длиной 0.856 м. В сечении профиля расположены прямоугольные канавки. Рабочее тело – аммиак высокой степени очистки.

Инженерная методика, позволяющая оценивать основные проектные параметры создаваемой системы, является важным звеном процесса проектирования. Выполнение проектного расчета всегда связано с неточностью учета в математическом описании реальных физических процессов, наблюдаемых в созданной модели. Это особо актуально, в том числе, для сложных процессов теплообмена, осложненных фазовыми переходами, что характерно для АТТ.

Экспериментальный стенд представляет собой теплоизолированный короб, в котором размещена испытуемая АТТ. На АТТ установлено 9 датчиков температуры. Два датчика расположены в зоне испарения, два датчика расположены в транспортной зоне и два датчика расположены в зоне конденсации. Тепловая энергия в зоне испарения подводилась с помощью гибкого нагревательного элемента, рассчитанного на мощность до 100 Вт. Во время испытаний к АТТ подводилась тепловая нагрузка, не превышающая 20 Вт. Теплоотвод осуществлялся жидкостным контуром, который контактировал с АТТ в зоне конденсации и представляет собой термостат, настроенный на температуру 0 °С. Рабочим телом жидкостного контура, являлся спирт.

Показано, что в целом результаты расчета хорошо коррелируются с результатами испытаний. Погрешность в расчетах относительно результатов испытаний не превысила 8 процентов.

Comparison of experimental and calculated data in the design of AGHP

Antonov V.A., Panin Yu.V., Kadeev D.M., Senshina T.A., Kholyakov A.E.
Lavochkin Assotiation, Khimki, Russia

Axial grooved heat pipes are widely used in space technology to provide a given thermal mode for automatic stations. AGHPs are distinguished by their theological manufacturing and relatively low cost. At the same time, they can be used to transfer heat fluxes up to 600 W per linear meter.

The article considers a comparison of the results of testing axial grooved heat pipes with the results of design calculations. An AGHP from a profile of 8 mm high and 0.856 m long was chosen as the test object. Rectangular grooves are located in the profile section. The working fluid is highly purified ammonia.

An engineering technique that makes it possible to evaluate the main design parameters of the system being created is an important part of the design process. The implementation of the design calculation is always associated with the inaccuracy of taking into account in the mathematical description of the real physical processes observed in the created model. This is especially important, including for complex heat transfer processes complicated by phase transitions, which is typical for heat pipes.

The experimental stand is a heat-insulated box in which the tested AGHP is placed. AGHP has 9 temperature sensors. Two sensors are located in the evaporation zone, two sensors are located in the

transport zone and two sensors are located in the condensation zone. Thermal energy in the evaporation zone was supplied by a flexible heating element designed for power up to 100 W. During the tests, a thermal load not exceeding 20 W was supplied to the AGHP. Heat removal was carried out by a liquid circuit, which was in contact with the AGHP in the condensation zone and is a thermostat set to a temperature of 0 °C. The working fluid of the liquid circuit was alcohol.

It is shown that, in general, the calculation results are in good agreement with the test results. The error in the calculations regarding the test results did not exceed 8 percent.

Разработка нетвердой опоры, обеспечивающей восстановление опорно-двигательных функций нижних конечностей космонавтов в реабилитационном периоде

Баранов М.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Медико-техническое обеспечение пилотируемых космических полетов решает проблему реабилитации космонавтов после воздействия неблагоприятных факторов космического полета. Актуальность и необходимость применения реабилитационных мер после инсульта, инфаркта, оперативных вмешательств и перенесенных черепно-мозговых травм часто зависит от того, насколько быстро получится восстановить двигательную активность. Задача заключается в восстановлении нервных связей между мышцами и мозгом. Для того, чтобы восстановить координацию движения необходимы специальные занятия. В таких случаях на помощь приходит метод БОС (биологической обратной связи). Во время тренировки после длительного полета датчики регистрируют минимальные импульсы и движения. Испытуемый учится заново сохранять положение тела, замечая даже малейшие позитивные перемены. Занятия на стабилоплатформе направлены на восстановление двигательной функции.

Стабилоплатформа позволяет зарегистрировать патологию даже в начальной стадии и своевременно её скорректировать. Тренажеры с биологической обратной связью дают ответ, как нужно задействовать свои мышцы во время тренировок. Специальные упражнения включают в работу или, напротив, расслабляют так называемые мышцы – мишени. Как работает та или иная группа мышц во время нагрузок показывает биологическая обратная связь. Реабилитация позволяет привести костно-мышечный аппарат в норму [1].

Подготовка организма космонавтов к встрече с земной гравитацией включает в себя много медико-технических задач. Но несмотря на применение всего комплекса профилактических мероприятий, бортовые средства не могут полностью предотвратить те функциональные изменения, которые возникают во время длительного пребывания в условиях микрогравитации и приводят к утрате физической работоспособности и ортостатической устойчивости. Поэтому важнейшими задачами первого, «острого» периода реадаптации являются восстановление ортостатической устойчивости, адаптация к вертикальной позе.

В докладе рассматриваются математические и технические предпосылки создания системы реабилитации двигательного процесса человека [2].

Литература:

1. Баранов М.С., «Разработка синхронизации сигнала с Equitest на миограф при оценке вертикальной устойчивости человека до и после космических полётов». Сборник трудов XIII всероссийской научно-технической студенческой школы-семинара «Аэрокосмическая декада».

2. М.С. Баранов, Л.Б. Строгонова., «Методы математического моделирования при определении положения центра тяжести с учетом перераспределения крови в нижних конечностях у космонавтов в эксперименте «стабило»». Научно-технический вестник Поволжья № 6. С. 9-13.

Development of a non-solid support that ensures the restoration of the musculoskeletal functions of the lower limbs of astronauts in the rehabilitation period

Baranov M.S.
MAI, Moscow, Russia

The medical and technical support of manned space flights solves the problem of the rehabilitation of astronauts after the impact of adverse space flight factors. The relevance and necessity of applying rehabilitation measures after a stroke, heart attack, surgical interventions and previous traumatic brain injuries often depend on how quickly it is possible to restore motor activity. The task is to restore the neural connections between the muscles and the brain. In order to restore coordination of movement, special exercises are needed. In such cases, the BFB (biofeedback) method comes to the rescue. During training after a long flight, the sensors register minimal impulses and movements. The subject learns to re-maintain the position of the body, noticing even the slightest positive changes. Classes on the stabiloplatform are aimed at restoring motor function.

The stabiloplatform allows you to register pathology even at the initial stage and correct it in a timely manner. Biofeedback machines give you the answer on how to engage your muscles during workouts. Special exercises include in the work or, on the contrary, relax the so-called target muscles. How this or that muscle group works during exercise is shown by biofeedback.Rehabilitation allows you to bring the musculoskeletal system back to normal [1].

Preparing the body of astronauts for a meeting with the Earth's gravity includes many medical and technical tasks. But despite the use of the entire complex of preventive measures, on-board facilities cannot completely prevent those functional changes that occur during a long stay in microgravity and lead to a loss of physical performance and orthostatic stability. Therefore, the most important tasks of the first, "acute" period of readaptation are the restoration of orthostatic stability, adaptation to a vertical posture.

The report discusses the mathematical and technical prerequisites for creating a system for the rehabilitation of the human motor process [2].

References:

1. M.S. Baranov, “Development of signal synchronization from Equitest to a myograph when assessing a person’s vertical stability before and after space flights.” Proceedings of the XIII All-Russian Scientific and Technical Student School-Seminar "Aerospace Decade".

2. M.S. Baranov, L.B. Strogonova., “Methods of mathematical modeling in determining the position of the center of gravity, taking into account the redistribution of blood in the lower extremities of astronauts in the “stabilized” experiment.” Scientific and technical bulletin of the Volga region No. 6. S. 9-13.

Анализ работы радиационного теплообменника системы обеспечения теплового режима на Луне

Белявский А.Е.
МАИ, г. Москва, Россия

Освоение Луны с помощью обитаемой лунной базы является в настоящее время приоритетным направлением развития космических исследований. При проектировании активных систем терморегулирования (СТР) лунной базы с использованием радиационных теплообменников (РТО), отводящих тепло из модулей на низком температурном уровне, проблемой является повышения температуры лунной поверхности в течении лунного дня до уровня выше температуры излучающей поверхности РТО. В этих условиях конструкции низкотемпературных РТО теряют эффективность вплоть до полной потери работоспособности [1].

Расчет внешних тепловых потоков, поглощенных РТО, температуры теплоносителя на выходе из РТО и количества тепла, отводимого РТО, расположенных на поверхности Луны в разных широтах, позволили сделать следующие выводы:

• РТО на поверхности Луны в течении лунных суток функционирует в трех режимах;

• Обеспечить отвод необходимого количества тепла из гермоотсека жилого модуля лунной базы с использованием наружного гидравлического контура модуля, сформированного по

аналогии с наружными гидравлическими контурами модулей долговременных космических обитаемых орбитальных станций «Мир» и Международной космической станции для большинства регионов Луны, за исключением полярных зон, не представляется возможным;

• Суммарное поглощенное излучение радиационным теплообменником, расположенным в районе материка, на 30 % меньше, чем у теплообменника, расположенного в районе лунного моря;

• При вертикальном расположении РТО достигается минимизация максимального поглощенного суммарного излучения;

• Для обеспечения требуемого температурного режима модулей лунной базы, расположенной в средних широтах и экваториальной зоне, необходимо использование новых подходов для формирования наружного гидравлического контура. Одним из путей решения проблемы является отвод избыточного количества тепла из модуля базы в течении лунного дня в реголит с последующим отводом его в течении лунной ночи в космическое пространство.

Литература:

1. Белявский А.Е. «Анализ работы радиационного теплообменника системы обеспечений теплового режима лунной базы», Тепловые процессы в технике. 2022. Т.14. № 3. С. 107-115.

Analysis of the operation of the radiation heat exchanger of the thermal regime system on the moon

Belyavskii A.E.
MAI, Moscow, Russia

The exploration of the Moon with the help of an inhabited lunar base is currently a priority area for the development of space research. When designing active thermal control systems (TDS) of the lunar base using radiation heat exchangers (RTO) that remove heat from the modules at a low temperature level T= 275÷300 K, the problem is to increase the temperature of the lunar surface during the lunar day to a level above the temperature of the radiating surface of the RTO. Under these conditions, the designs of low-temperature RTOS lose efficiency up to a complete loss of operability.

The calculation of the external heat fluxes absorbed by the RTO, the temperature of the coolant at the outlet of the RTO and the amount of heat removed by the RTO located on the surface of the Moon at different latitudes allowed us to draw the following conclusions:

• RTO on the surface of the Moon during the lunar day operates in three modes;

• It is not possible to ensure the removal of the necessary amount of heat from the pressurized compartment of the lunar base housing module using the external hydraulic circuit of the module, formed by analogy with the external hydraulic circuits of the modules of the long-term space habitable orbital stations Mir and the International Space Station for most regions of the Moon, with the exception of the polar zones;

• The total absorbed radiation by a radiation heat exchanger located in the mainland area is 30% less than that of a heat exchanger located in the lunar sea area;

• With the vertical arrangement of the RTO, minimization of the maximum absorbed total radiation is achieved;

• In order to ensure the required temperature regime of the modules of the lunar base located in the middle latitudes and the equatorial zone, it is necessary to use new approaches for the formation of an external hydraulic circuit. One of the ways to solve the problem is the removal of excess heat from the base module during the lunar day into the regolith, followed by its removal during the lunar night into outer space.

References:

1. Belyavskii A.E. "Analysis of the operation of the radiation heat exchanger of the system of providing the thermal regime of the lunar base", Thermal processes in engineering. 2022. Vol.14. No. 3. pp. 107-115.

Заболеваемость профессиональной тугоухостью летного состава Воздушно-космических сил

Бирина В.В., Лисовская Т.Л.
Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия

Введение. Во время трудовой деятельности авиационные специалисты (инженерно-технический состав (ИТС) и летно-подъемный состав (ЛПС) различных видов авиации) Минобороны России подвергаются воздействию шума различных характеристик, источниками которого являются воздушные суда и вспомогательное оборудование на авиационных объектах. Длительное воздействие авиационного шума является ведущей причиной возникновения и развития заболевания внутреннего уха – профессиональной сенсоневральной тугоухости (СНТ).

Цель исследования: клинико-статистический и эпидемиологический анализ заболеваемости тугоухостью у летного состава по данным учетно-отчетной документации.

Материалы и методы. Исследование проводилось на базе филиала № 1 Главного военного клинического госпиталя им. Н.Н. Бурденко. Материалом для исследования служили данные освидетельствования центральной врачебно-лётной комиссией (ВЛК) 7745 военнослужащих из числа ИТС и ЛПС за пять лет. Методы исследования – количественный анализ и статистическая обработка данных.

Результаты и их обсуждение. По результатам 7745 освидетельствованных военнослужащих выдано 2196 (28,3 %) свидетельств о болезни, причиной которых явилась в том числе и СНТ, из которых 1592 раза вынесено заключение о негодности к летной работе. Из числа «не годных к летной работе» 202 военнослужащих имеют в заключении врачебно-летной комиссии (ВЛК) хроническую тугоухость, что составляет 12,8%. Среди них: 122 (60,4%) летчика, 46 (22,77%) штурманов, 28 (13,86%) других членов экипажа и 6 (2,97%) руководителей полетов с тугоухостью, средний возраст направления на ВЛК которых составил 42,1±0,5 г. Средний стаж налета составляет 20,6±0,5 лет, при появлении симптомов заболевания через 10,1±0,5 лет и последующим прогрессированием в течение 10,4±0,4 лет до вынесения заключения о негодности к летной работе. 13 военнослужащих из числа летного состава получили в заключении ВЛК статью 39-а – стойкое понижение слуха на оба уха до степени восприятия шепотной речи на расстоянии менее 1 метра и признаны – не годны к летной работе;

Таким образом, среди всех проанализированных свидетельств о болезни военнослужащих Воздушно-космических сил за пятилетний период развитие профессионального заболевания внутреннего уха (СНТ) наблюдается у 28,3 % летного состава. У подавляющего большинства клинико-аудиологическая картина характеризовалась двусторонним поражением слухового анализатора

Incidence of occupational hearing loss flight composition of the Aerospace Forces

Birina V.V., Lisovskaya T.L.
S.M. Kirov Military Medical Academy, Saint-Petersburg, Russia

Introduction. During labor activity, aviation specialists (engineering and technical composition and flight and lifting composition of various types of aviation) of the Ministry of Defense of Russia are exposed to noise of various characteristics, the sources of which are aircraft and auxiliary equipment at aircraft facilities. Long-term exposure to aircraft noise is the leading cause of internal ear disease - occupational sensorineural hearing loss.

The purpose of the study: clinical, statistical and epidemiological analysis of the incidence of hearing loss in the flight staff according to the accounting and reporting documentation.

Materials and methods. The study was carried out on the basis of branch No. 1 of the Main Military Clinical Hospital named after N.N. Burdenko. The material for the study was the data of the examination by the central medical and flight commission of 7745 military personnel from among the engineering and technical staff and flight and lifting staff for five years. Research methods - quantitative analysis and statistical processing of data.

Results and discussion. According to the results of 7745 examined military personnel, 2196 (28.1%) certificates of illness were issued, the cause of which was, among other things, sensorineural

hearing loss, of which 1592 times were concluded to be unusable for flight work. Of the "not fit for flight work," 202 military personnel have chronic hearing loss in the conclusion of the medical and flight commission, which is 12.8%. Among them: 122 (60.4%) pilots, 46 (22.77%) navigators, 28 (13.86%) other crew members and 6 (2.97%) flight managers with hearing loss, the average age of referral to the medical and flight commission of which was 42,1±0,5 g. The average work experience is 20,6±0,5 years, with the appearance of symptoms of the disease after 10,1±0,5 years and subsequent progression for 10,4±0,4 years before the conclusion of unusability for flight work. 13 servicemen from among the flight personnel received in the conclusion of the medical and flight commission article 39-a - a persistent decrease in hearing on both ears to the degree of perception of whisper speech at a distance of less than 1 meter and were recognized as not suitable for flight work.

Thus, among all the analyzed certificates of illness of servicemen of the Aerospace Forces over a five-year period, the development of a professional disease of the inner ear (sensorineural hearing loss) is observed in 28.3% of the flight personnel. In the vast majority, the clinical and audiological picture was characterized by bilateral damage to the auditory analyzer.

Анализ проектов космических солнечных электростанций

Бондаренко Ю.А., Мельников В.М.
РУДН, г. Москва, Россия

Энергетический кризис, охвативший в настоящее время многие развитые страны, указывает на то, что разработка КСЭС отстала от реальности, что делает её особо актуальной. Китай в 2019 г. объявил о планах создания КСЭС к 2035 г., готов потратить триллион долларов. В Японии после аварии сразу на 3 атомных реакторах принята «Императорская» программа создания КСЭС к 2040 г. Нефть, газ, уголь и уран заменит «космическое электричество». Работы по созданию КСЭС также ведутся в странах НАТО, Индии, Израиле. Преимущества использования КСЭС по сравнению с ТЭС, ГЭС, АЭС, заключаются в трансляции экологически чистой без химической токсичности и ядерной радиации, меньшего нагрева окружающей среды, а также дешёвой непосредственно в район её потребления без прокладки линий электропередач и связанных с этим затрат и экологических нарушений. Обеспечивается энергоснабжение удалённых и труднодоступных районов Земли при отсутствии необходимой кабельной сети. Создание КСЭС – это ряд научно-технических и организационных задач: выбор рационального проектно-конструкторского облика; использование центробежных конструкций и волоконных лазеров с солнечной накачкой в окнах прозрачности атмосферы, локальное просветление атмосферы, разработка способов точного наведения лазерного пучка на наземную ректенну; использование многочисленных маломасштабных энергетических модулей и их синхронного управления, создание методов наземной и орбитальной отработки. Выбор рационального проектно-конструкторского облика является главным этапом разработки любого изделия. Необходим комплексный системный сравнительный анализ разработок в мире по критериям: удельная масса, удельная стоимость, управляемость, возможность отработки, чувствительность к космическому мусору, технологичность, надёжность, наличие заделов и др. Анализ проектно-конструкторского облика большинства предложенных ранее КСЭС указывает на недопустимую их чувствительность по ряду параметров при длительной эксплуатации. Предложенный CAST проект в потоках космического мусора потеряет форму и работоспособность. Используемая Японией тросовая система из 4 тросов длиной 15 км не просуществует и нескольких месяцев. Американская конструкция из двух концентраторов, скреплённых многочисленными штангами длиной по 5 км. весьма чувствительна к космическому мусору. Центробежные конструкции слабо чувствительны к этому фактору и обладают рядом существенных преимуществ перед аналогами: облегченная конструкция, меньшая стоимость; высокая надёжность; управление без расхода рабочего тела. Проведённый в 1993 космический эксперимент «Знамя-2», открыл новое направление создания крупногабаритных конструкций, может стать эффективной базой для формирования проектно-конструкторского облика космических солнечных электростанций. При этом будет использован многолетний уникальный опыт разработки подобных конструкций в РКК «Энергия».

Литература:
1. Китай обещает построить космические солнечные электростанции к 2035 г. / РКТ N49, 2019, С.25-26.
2. Space-Based Solar Power As an Opportunity for Strategic Security. Phase of Architecture Feasibility Study.// Report to the Director. National Security Space Office. 10 October 2007.
3. S. Sasaki et al. JAXA Advanced Mission Research Group. SSPS development road map / IAC-09.C3.1.4. October 2009.
4. Райкунов Г.Г., Комков В.А., Сысоев В.К., Мельников В.М.. Космические солнечные электростанции – проблемы и перспективы. –М: Изд. РУДН, 2017г., 283с.

Analysis of space solar power projects

Bondarenko Y.A., Melnikov V.M.
RUDN University, Moscow, Russia

The energy crisis currently affecting many developed countries points to the fact that the development of the Space solar power plant (SSPP) has fallen behind reality, which makes it especially urgent. China in 2019 announced plans to create the SSPP by 2035, ready to spend a trillion dollars. In Japan, after an accident at three nuclear reactors at once, the "Imperial" program of creating the SSPP by 2040 was adopted. Work on the creation of the SSPP is also being conducted in the NATO countries, India, Israel. The advantages of using SSPP compared to traditional power sources: the transmission of ecologically clean energy. SSPP provides power supply to remote and inaccessible areas of the Earth. Creation of the SSPP is a number of scientific, technical and organizational tasks: the choice of a rational design appearance; use of centrifugal structures and fiber lasers with solar pumping in the atmospheric windows, local enlightenment of the atmosphere, the development of methods for precision guidance of the laser beam to the ground rectenna; use of numerous small-scale power modules and their synchronous control. Current projects have been analysed by the following criteria: mass, cost, controllability, testing capability, sensitivity to space debris, manufacturability, reliability. CAST project in the streams of space junk may lose its shape and performance. The Japanese cable system of 4 cables with the length of 15 km may not last even a few months. The U.S. design of two hubs connected by multiple rods each 5 km long is very sensitive to space debris. Centrifugal designs are weakly sensitive to this factor and have a number of significant advantages over their analogues: lightweight design, lower cost; higher reliability; control without working body consumption. The space experiment "Znamya-2", conducted in 1993, opened a new direction for the creation of large-sized structures and can become an effective basis for the formation of the design of space solar power plants. This will make use of RSC “Energia” unique experience in developing similar structures.

Универсальная космическая платформа

Борисенко И.А., Нетелев А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящих тезисах представлены результаты разработки универсальной космической платформы (УКП). Был проработан вариант компоновки УКП на основе рассмотренных прототипов (БМСС «Навигатор», УКП «Яхта», Экспресс-100Н), проведен расчет потребного запас рабочего тела для разных параметров орбит космической платформы, выбран состав целевых и служебных систем, составлены массово-габаритная сводка, циклограмма функционирования бортовых систем и проведен расчет системы энергообеспечения. На основе эти данных, проеден анализ возможных вариантов конструкций системы обеспечения теплового режима (СОТР) разрабатываемой платформы, определены преимущества, недостатки каждого из вариантов и выбрана итоговая схема исполнения СОТР с учетом технологичности при ее последующей сборке.

Полученные результаты позволили определить характеристики отдельной трехслойной сотовой панели с учетом теплового излучения бортовой аппаратуры, установленной на данной панели и теплового состояния окружающего пространства.

В соответствии с современными тенденциями в выборе конструктивно-компоновочной и конструктивно-силовой схем космических аппаратов, в разработке предлагается использование трехслойных сотовых панелей для крепления оборудования и служебных систем, а в качестве основной несущей конструкции применяется центральная цилиндрическая секция из композитных материалов. Такая компоновочная схема упрощает процесс сборки и обслуживания УКП, позволяет выводить сразу несколько аппаратов установленных последовательно и существенно упрощает процесс разведения аппаратов по целевым орбитам.

Работа выполнена в рамках государственного задания № FSFF-2020-0016.

Universal space bus

Borisenko I.A., Netelev A.V.
MAI, Moscow, Russia

This abstract presents the results of the development of the Universal Space Bus (USB). A variant of USB layout on the basis of the reviewed prototypes ("Navigator", USB "Yacht", Express-100N) was developed, calculation of the required working body inventory for different parameters of space platform orbits was performed, composition of target and service systems was selected, a mass-size summary, cyclogram of onboard systems operation was made and power supply system was calculated. Based on these data, an analysis of possible designs for the thermal management system (HTMS) was performed, advantages and disadvantages of each design variant were determined, and the final design scheme for the HTMS was selected, taking into account its manufacturability for subsequent assembly.

The results obtained made it possible to determine the characteristics of a specific three-layer honeycomb panel, taking into account the thermal radiation of the onboard equipment installed on this panel and the thermal state of the surrounding space.

In accordance with the current trends in the choice of structural and configuration scheme of spacecraft, the development suggests using three-layer honeycomb panels for fixing equipment and service systems, and using a central cylindrical section made of composite materials as the main load-bearing structure. Such layout scheme simplifies the process of spacecraft assembly and maintenance, makes it possible to launch several spacecraft installed in series at once and considerably simplifies the process of spacecraft deployment in target orbits.

The work was performed within the governmental task № FSFF-2020-0016.

Моделирование динамики температурных полей при фазовом переходе теплоаккумулирующего вещества в среде ANSYS Fluent

Воропаев Р.А.
ПАО «РКК «Энергия», г. Королёв, Россия

Тепловое аккумуляторы (ТА) предназначены для накопления энергии от источников тепла за счет теплоты фазового перехода теплоаккумулирующего вещества (ТАВ) с последующими утилизацией или использованием в зависимости от назначения ТА, которые получают все большее распространение. В частности, применяются для обеспечения энергоэффективности зданий [1], а также позволяют обеспечивать тепловой режим бортовой аппаратуры периодического и кратковременного действия космических аппаратов (КА) [2], и представляет интерес для приложений связанных с охлаждением лазерных систем, используемых при передаче энергии и информации.

Размеры холодильника-излучателя КА имеют прямо пропорциональную связь с излучаемой мощностью. В частности, для пиковой тепловой мощности 6.5 кВт требуются радиатор, размеры которого в разы превышают размеры ТА на основе фазового перехода. Размеры и вес радиатора в свою очередь влияют на увеличение общей стоимости выведения КА или доставки аппаратуры на орбиту. Применение ТА позволит уменьшить массогабаритные характеристики конструкции.

В работе экспериментально исследовались два типа ТА, отличающиеся поверхностями теплообмена и ТАВ, в качестве которых использовались октадекан и гексадекан с температурами плавления 28,5 и 18,2 °С соответственно.

ТА-1 имеет плоский нагревательный элемент с площадью 31.1 〖см〗^2 с регулируемой мощностью в диапазоне от 3 Вт до 40 Вт, заполненный октадеканом массой 115 г. ТА-1 имеет цилиндрическую конструкцию диаметром 63.5 см со стеклянными стенками толщиной 2.5 мм. Потери энергии на нагрев корпуса и излучение тепла во внешнюю среду во время проведения эксперимента для мощностей нагрева 34.1 Вт, 7.1 Вт, 11.5 Вт и 3.6 Вт составляли не более 17.6 % от общей поглощенной энергии и были учтены при моделировании.

ТА-2 – это макет кожухотрубного ТА размерами 1000*100*11 мм, внутренний объем которого заполнен гексадеканом и содержит 36 трубок, окруженных ТАВ, внутренним диаметром 3 мм для прокачки теплоносителя. ТА-2 является прототипом ТА для охлаждения лазера космического базирования. Для ТА-2 были получены зависимости снимаемых мощностей для различных скоростей прокачки теплоносителя от 1 л/мин до 4 л/мин. Показано, что снимаемая тепловая мощность нелинейно уменьшается при снижении расхода теплоносителя через теплообменник ТА при постоянной температуре на входе.

1. Al-Yasiri Q., Szabó M. Incorporation of phase change materials into building envelope for thermal comfort and energy saving: A comprehensive analysis //Journal of Building engineering. – 2021. – Т. 36. – С. 102122.

2. Garmendia I. et al. Design and Fabrication of a Phase Change Material Heat Storage Device for the Thermal Control of Electronics Components of Space Applications //Aerospace. – 2022. – Т. 9. – №. 3. – С. 126.

3. Банных О. П. Основные конструкции и тепловой расчет теплообменников //Учебное пособие. СПбНИУ ИТМО. – 2012.

Modeling the dynamics of temperature fields during the phase transition of a heat-storing substance in the ANSYS Fluent environment

Voropaev R.A.

RSC Energia, Korolev, Russia

Thermal accumulators are designed to accumulate energy from heat sources due to the heat of the phase transition of a heat storage substance with subsequent disposal or use, depending on the purpose of the thermal accumulator, which are becoming more widespread. In particular, they are used to ensure the energy efficiency of buildings [1], as well as to ensure the thermal regime of the onboard equipment of intermittent and short-term operation of spacecraft [2], and is of interest for applications related to the cooling of laser systems used in the transmission of energy and information.

The dimensions of the refrigerator-emitter of the spacecraft are directly proportional to the radiated power. In particular, for a peak thermal power of 6.5 kW, a radiator is required, the dimensions of which are several times larger than the dimensions of a heat accumulator based on a phase transition. The dimensions and weight of the radiator, in turn, affect the increase in the total cost of launching a spacecraft or delivering equipment into orbit. The use of a thermal accumulator will reduce the weight and size characteristics of the structure.

In the work, two types of heat accumulators were experimentally studied, differing in heat exchange surfaces and phase transition material, which were used as octadecane and hexadecane with melting points of 28.5 and 18.2 °C, respectively.

The first heat accumulator has a flat heating element with an area of 31.1 〖cm〗^2 with adjustable power in the range from 3W to 40W, filled with octadecane weighing 115g. It has a cylindrical structure with a diameter of 63.5cm with glass walls 2.5mm thick. The energy losses for heating the case and heat radiation to the external environment during the experiment for heating powers of 34.1 W, 7.1 W, 11.5 W and 3.6 W did not exceed 17.6% of the total absorbed energy and were taken into account in the simulation.

The second heat accumulator is a model of a shell-and-tube heat accumulator with dimensions of 1000*100*11 mm, the internal volume of which is filled with hexadecane and contains 36 tubes

surrounded by a material with a phase change, with an internal diameter of 3 mm for pumping the coolant. It is the prototype of a thermal storage device for cooling a space-based laser. For the second type of heat accumulator, the dependences of the output power were obtained for various coolant pumping rates from 1 l/min to 4 l/min. It is shown that the removed thermal power decreases non-linearly with a decrease in the coolant flow through the heat accumulator heat exchanger at a constant inlet temperature.

1. Al-Yasiri Q., Szabó M. Incorporation of phase change materials into building envelope for thermal comfort and energy saving: A comprehensive analysis //Journal of Building engineering. – 2021. – T. 36. – C. 102122.

2. Garmendia I. et al. Design and Fabrication of a Phase Change Material Heat Storage Device for the Thermal Control of Electronics Components of Space Applications //Aerospace. – 2022. – T. 9. – №. 3. – C. 126.

3. Bannykh O. P. Basic designs and thermal calculation of heat exchangers // Study guide. SPbNIU ITMO. – 2012.

Математическая модель оценки параметров системы технического обслуживания агрегатов и систем летательного аппарата

Гусев Е.В., Ткачев А.Е., Голанов И.А.
МАИ, г. Москва, Россия

В статье рассмотрены актуальные вопросы, связанные с особенностями технического обслуживания (ТО) и определения оптимальной длительности и периодичности проведения ТО в зависимости от известных показателей надежности, характеристик системы ТО и требуемому времени безотказной работы.

Основным вопросом организации ТО является обоснование оптимальной периодичности и длительности проведения ТО.

При решении этого вопроса возникают следующие противоречивые требования. С одной стороны, необходимо обеспечить заданную эксплуатационную надежность за счет проведения ТО, что требует значительных затрат времени. С другой стороны, с точки зрения готовности и непосредственного использования агрегатов и систем летательного аппарата невыгодно, чтобы они простаивали на ТО, т.е. время на техническое обслуживание должно быть минимальным.

В работе авторы предлагают использовать показатель, учитывающий оба требования к аппаратуре: по надежности и по степени использования.

Проведена оценка эффективности ТО и получена зависимость, которую можно использовать для обоснования периодичности и длительности проведения технического обслуживания: в том случае, когда проведение ТО целесообразно (например, к моменту начала ТО накопилось достаточное количество неисправностей и качество их выявления высоко, d превышает 0.7..0.8, длительность проведения каждого ТО должна быть не меньше, чем предусмотрено по нормам, т.е. Тп=Тп0.

В случае, когда d превышает 0.5, увеличение длительности ТО приводит к снижению эффективности использования аппаратуры. При значениях d, близких к 0.5-0.6, увеличение длительности ТО целесообразно до определенного предела, при котором достигается Рэimax. Дальнейшее увеличение длительности каждого ТО нецелесообразно.

A mathematical model for estimating the parameters of the maintenance system of aircraft units and systems

Gusev E.V., Tkachev A.E., Golanov I.A.
MAI, Moscow, Russia

The article deals with topical issues related to the features of maintenance and the determination of the optimal duration and frequency of maintenance, depending on the known reliability indicators, the characteristics of the maintenance system and the required uptime.

The main issue in the organization of maintenance is the rationale for the optimal frequency and duration of maintenance.

In addressing this issue, the following contradictory requirements arise. On the one hand, it is necessary to ensure the specified operational reliability through maintenance, which requires a significant amount of time. On the other hand, from the point of view of readiness and direct use of aircraft units and systems, it is unprofitable for them to stand idle for maintenance, i.e. maintenance time should be kept to a minimum.

In the paper, the authors propose to use an indicator that takes into account both the requirements for equipment: in terms of reliability and degree of use.

The efficiency of maintenance was assessed and a relation was obtained that can be used to justify the frequency and duration of maintenance: in the case when maintenance is expedient (for example, by the time the maintenance starts, a sufficient number of faults have accumulated and the quality of their detection is high, d exceeds 0.7..0, 8, the duration of each maintenance must be at least as stipulated by the standards, i.e. Tp=Tp0.

In the case when d exceeds 0.5, an increase in the duration of maintenance leads to a decrease in the efficiency of equipment use. With values of d close to 0.5-0.6, it is advisable to increase the duration of maintenance to a certain limit, at which Reimax is achieved. A further increase in the duration of each maintenance is not advisable.

Прогнозирование показателей технического обслуживания сложных технических систем в процессе хранения

Гусев Е.В., Булташева А.А., Соловьева Е.О., Пронкин А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

В процессе хранения происходит деградация параметров работоспособности технических систем, обусловленная процессами старения и износа под влиянием внешних воздействий. При этом возникающие отказы могут быть обнаружены только во время проверок их работоспособности, проводимых при их техническом обслуживании (ТО). В связи с этим возникает задача прогнозирование показателей технического обслуживания, для обеспечения безотказности функционирования изделий в течение всего периода их эксплуатации.

Простейшая модель эксплуатации с регламентированным техническим обслуживанием

Первоначально рассмотрим процесс функционирования устройства с элементарной системой технического обслуживания. Его можно представить, как последовательное пребывание устройства в следующих состояниях:

- готовности к работе (Г);
- регламентного технического обслуживания (ТО);
- скрытого отказа (О).

В процессе эксплуатации устройство из состояния готовности может с интенсивностью λ перейти в состояние скрытого отказа. Эти отказы будут выявлены при очередном ТО. Из состояния готовности в состояние регламентного технического обслуживания устройство может перейти с периодичностью T_ТО. После окончания ТО продолжительностью τ_ТО, в ходе которого устраняются все обнаруженные отказы и проводятся профилактические операции и проверки, устройство возвращается в состояние готовности к работе.

В общем случае в процессе эксплуатации могут использоваться различные виды ТО, отличающиеся глубиной контроля, а также периодичностью:

непрерывный контроль (НК) сравнительно малого числа характеристик, ведущийся непрерывно в состоянии готовности к применению,

периодические проверки (ПО), проводящиеся через заранее установленные неслучайные интервалы времени T_ТО (межпроверочный период), позволяющие проверить значительный объем параметров сверх контролируемых постоянно.

В процессе эксплуатации устройство из состояния готовности может с интенсивностью ω_1 перейти в состоянии отказа, обнаруживаемого в процессе непрерывного контроля. После устранения этих отказов с интенсивностью μ устройство переходит в состоянии готовности. Из состояния готовности оно с интенсивностью ω_2 может перейти в состояние скрытого отказа. Эти отказы будут выявлены при очередном ТО. Из состояния готовности в состояние технического обслуживания устройство может перейти с периодичностью T_ТО. После

окончания ТО продолжительностью τ_ТО, в ходе которого устраняются все обнаруженные отказы и проводятся профилактические операции и проверки, устройство возвращается в состояние готовности к работе.

В работе предложены методы прогнозирования показателей ТО, позволяющие на ранних этапах проектной разработки. согласовывать проектные решения с мероприятиями по обслуживанию технических систем. Получены расчетные соотношения по согласованию кратности резерва и периодичности проведения ТО. Предложены методы оптимизации периодичности проведения ТО и интенсивности восстановления отказов при периодическом контроле τ_ТОи непрерывном контроле μ. Работоспособность предлагаемых подходов проиллюстрирована на конкретных примерах.

Forecasting of maintenance indicators of complex technical systems during storage

Gusev E.V., Bultasheva A.A., Solovyeva E.O., Pronkin A.A.
MAI, Moscow, Russia

During storage, the parameters of the operability of technical systems degrade due to the processes of aging and wear under the influence of external influences. At the same time, the failures that occur can be detected only during the checks of their operability carried out during their maintenance (maintenance). In this regard, the task arises of predicting maintenance indicators to ensure the trouble-free operation of products during the entire period of their operation.

The simplest operating model with regulated maintenance

At first, we will consider the process of functioning of a device with an elementary maintenance system. It can be represented as a sequential stay of the device in the following states:

1 - ready state (R);

2 - routine maintenance (M);

3 - hidden failure (F).

During operation, the device can switch from a ready state with intensity λ to a state of latent failure. These failures will be revealed at the next maintenance. From the state of readiness to the state of routine maintenance, the device can switch with a frequency of T_M. After the end of the maintenance period τ_M, during which all detected failures are eliminated and preventive operations and checks are carried out, the device returns to the ready state.

In general, various types of maintenance can be used during operation, differing in the depth of control, as well as in frequency:

- continuous monitoring (CM) of a relatively small number of characteristics, conducted continuously in a state of readiness for use,
- periodic checks (PC) carried out at pre-determined non-random time intervals T_M (inter-verification period), allowing you to check a significant amount of parameters in excess of the constantly monitored.

During operation, the device can go from a ready state to a failure state with an intensity of ω_1, which is detected in the process of continuous monitoring. After these failures are eliminated with the intensity of μ, the device goes into a ready state. From the state of readiness, it can go into a state of latent failure with the intensity of ω_2.These failures will be revealed at the next maintenance. After these failures are eliminated with the intensity of μ, the device goes into a ready state. From the state of readiness, it can go into a state of latent failure with the intensity of ω_2. These failures will be revealed at the next maintenance. From the state of readiness, it can go into a state of latent failure with the intensity of ω_2. These failures will be revealed at the next maintenance. The device can switch from the ready state to the maintenance state with the frequency τ_M. After the end of the maintenance period τ_M, during which all detected failures are eliminated and preventive operations and checks are carried out, the device returns to the state of readiness for operation.

The report suggests methods for predicting maintenance indicators, which allow at the early stages of project development to coordinate design solutions with maintenance activities for technical systems. Calculated ratios have been obtained to coordinate the multiplicity of the reserve and the frequency of maintenance. Methods for optimizing the frequency of maintenance and the intensity

of failure recovery with periodic monitoring of τ_M and continuous monitoring of μ are proposed. The efficiency of the proposed approaches is illustrated by concrete examples.

Оптимизация медико-технических характеристик систем автоматического регулирования режимов давления в гермокабине воздушных судов распределенного типа

Дворников М.В., Матюшев Т.В., Малышев А.Д., Максимова И.Д., Рыбина А.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Многоуровневая система защиты экипажа и пассажиров воздушных судов от высотных факторов полета, включающая гермокабину и кислородное оборудование, созданная более 60-80 лет тому назад, из-за противоречивости медико-технических требований к отдельным элементам фактически исчерпала свои возможности совершенствования. Безопасность высотных полетов в аварийных ситуациях решается путем учета резервных возможностей организма человека и пересмотра нормативов к допустимым, предельно-переносимым и предельно переносимым уровням физиологических требований к техническим средствам защиты. При этом обеспечить полную защиту экипажа и пассажиров от высотных факторов (гипоксии, гипобарии, декомпрессии, компрессии) в штатном полете не представляется возможным. Тенденции развитие авиационной техники по пути увеличения продолжительности и высоты полета актуализируют физиолого-гигиенические проблемы нормирования и оптимизации взаимодействия различных систем регулирования давления в гермокабине. Сформулирован принцип распределенной защиты между различными средствами защиты. Обоснованы уточненные физиологические ограничения к безопасным уровням степени гипобарии. Уточнены медико-технические требования к режимам давления в гермокабине воздушного судна и способам перераспределения воздуха от систем кондиционирования воздуха, с учетом возможностей и ограничений индивидуального кислородного оборудования, а также систем активной безопасности и автоматического управления экстренного изменения высоты полета. Разработанные математические модели подтверждают достижимость оптимизации параметров давления в кабине воздушного судна не только в аварийных ситуациях, но и в штатном высотном, маневренном и длительном полете.

Optimising the medical and technical characteristics of automatic pressure control systems in the pressurised cabin of distributed aircraft

Dvornikov M.V., Matyushev T.V., Malyshev A.D., Maximova I.D., Rybina A.S.
MAI, Moscow, Russia

The multilevel system of protection of the crew and passengers of aircraft against high-altitude flight factors, including pressurised cabin and oxygen equipment, created more than 60-80 years ago, has actually exhausted its opportunities for improvement due to contradictory medical and technical requirements for individual elements. Safety of high-altitude flights in emergency situations is solved by taking into account the reserve capabilities of the human body and revising the standards for permissible, maximum tolerable and maximum tolerable levels of physiological requirements for technical protective equipment. At the same time, it is not possible to fully protect the crew and passengers from altitude factors (hypoxia, hypobaric, decompression, compression) in a standard flight. Trends in development of aviation technology towards increasing flight time and altitude actualise physiological and hygienic problems of rationing and optimisation of interaction between various pressure control systems in the pressurised cabin. The principle of distributed protection between different means of protection is formulated. The physiological limitations to safe levels of hypobaric degree are justified. The medical and technical requirements for pressurisation regimes in an aircraft's pressurised cabin and methods of air redistribution from air conditioning systems, taking into account the capabilities and limitations of individual oxygen equipment, as well as active safety systems and automatic emergency altitude change control systems, have been clarified. The developed mathematical models confirm the feasibility of optimising the cockpit pressure parameters not only in emergency situations, but also in normal altitude, manoeuvre and continuous flight.

Проектно-баллистический анализ манёвра вращающейся тросовой космической системы

Дроботов В.Б., Екимовская А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Проектно-баллистический анализ малых космических аппаратов, как правило, предполагает решение узкой специализированной задачи на конкретной, строго определённой орбите. Результатом такого проектирования стали орбитальные системы, насчитывающие сотни и даже тысячи небольших объектов. После завершения срока активного существования эти объекты увеличивают группировку космического мусора, потому что в их конструкции нет двигателей и топлива для орбитального маневрирования, в том числе возвращения на Землю или в плотные слои атмосферы для разрушения и сгорания. Причина такой ситуации заключается в опережающих темпах развития информационных технологий, электроники и компьютерной техники по сравнению с механикой. В малом космическом аппарате просто нет места для размещения двигательной установки и, тем более, химического топлива для неё. Более того, наличие химического топлива на борту космического аппарата всегда представляет опасность. Следовательно, актуальной стала задача поиска альтернативных способов энергетического обеспечения малых космических аппаратов.

Цель работы заключается в энергетическом обеспечении безопасного маневрирования малого космического аппарата на орбите. Эта цель достигается предложением аккумулировать кинетическую энергию вращения космической системы, а потом освобождать разрывом механической связи. После разрыва связи модули освобождаются и получают дополнительные скорости, которые до этого были линейными скоростями вращения относительно центра масс системы. Эти дополнительные скорости позволяют выполнить орбитальное маневрирование модулей. Например, торможение одного модуля позволит перевести его на орбиту снижения и удалить из космического пространства, сократив группировку космического мусора. Напротив, по закону сохранения импульса, второй модуль получит дополнительную разгонную скорость и перейдёт на более высокую орбиту.

Закономерен вопрос о возможности маневрирования вращающейся космической системы. При малых радиусах вращения угловая скорость должна быть большой, иначе не будет получен необходимый для орбитального манёвра импульс. В принципе, для малых космических аппаратов большие скорости вращения допустимы, но технически трудно осуществимы. При больших радиусах вращения, напротив, угловая скорость может быть уменьшена. Например, для безопасного входа в атмосферу Земли при возвращении с низкой орбиты характерной скоростью торможения является 100 м/с. Такая скорость может быть получена после разрыва тросовой системы, радиус вращения которой равен 100 метров, а угловая скорость 1 рад/с, то есть около 60 градусов в секунду. Вполне реально создать тросовую систему длиной 200 метров, раскрутить её, чтобы как можно скорее израсходовать на орбите опасное химическое топливо, запасти кинетическую энергию вращения, а потом освободить накопленную энергию для орбитального манёвра.

Первичные баллистические расчёты доказали возможность совершения манёвра Гомана вращающейся системой [1].

Подана заявка на патент на изобретение "Способ межорбитального маневрирования космического аппарата" [2].

Литература:

1. Мирер С.А. Механика космического полёта. Орбитальное движение. Учебное пособие. Часть 2. – М.: МФТИ, 2013.

2. Екимовская А.А. Способ межорбитального маневрирования космического аппарата. Заявка на патент на изобретение RU № 2021126157 от 06.09.2021 г.

Design and ballistic analysis of the maneuver of a rotating cable space system

Drobotov V.B., Ekimovskaya A.A.
MAI, Moscow, Russia

Design and ballistic analysis of small spacecraft, as a rule, involves solving a narrow specialized task in a specific, strictly defined orbit. The result of this design were orbital systems, numbering hundreds and even thousands of small objects. After the end of their active existence, these objects increase the grouping of space debris, because there are no engines and fuel in their design for orbital maneuvering, including returning to Earth or to the dense layers of the atmosphere for destruction and combustion. The reason for this situation lies in the outpacing pace of development of information technology, electronics and computer technology compared to mechanics. In a small spacecraft, there is simply no place to place the propulsion system and, moreover, chemical fuel for it. Moreover, the presence of chemical fuel on board a spacecraft is always a danger. Consequently, the task of finding alternative ways to power small spacecraft has become urgent.

The purpose of the work is to provide energy for safe maneuvering of a small spacecraft in orbit. This goal is achieved by the proposal to accumulate the kinetic energy of the rotation of the space system, and then release it by breaking the mechanical connection. After the connection is broken, the modules are released and receive additional speeds, which were previously linear rotational speeds relative to the center of mass of the system. These additional speeds allow for orbital maneuvering of the modules. For example, braking one module will allow it to be transferred to a descent orbit and removed from outer space, reducing the grouping of space debris. On the contrary, according to the law of conservation of momentum, the second module will receive additional acceleration speed and move to a higher orbit.

The question of the possibility of maneuvering a rotating space system is natural. At small radii of rotation, the angular velocity must be large, otherwise the momentum necessary for the orbital maneuver will not be obtained. In principle, for small spacecraft, high rotational speeds are acceptable, but technically difficult to implement. At large radii of rotation, on the contrary, the angular velocity can be reduced. For example, for a safe entry into the Earth's atmosphere when returning from a low orbit, the characteristic deceleration rate is 100 m/s. Such a speed can be obtained after the rupture of the cable system, the radius of rotation of which is 100 meters, and the angular velocity is 1 rad / s, that is, about 60 degrees per second. It is quite realistic to create a 200-meter-long cable system, untwist it in order to use up dangerous chemical fuel in orbit as soon as possible, store kinetic energy of rotation, and then release the accumulated energy for an orbital maneuver.

Primary ballistic calculations proved the possibility of performing the Homan maneuver by a rotating system [1].

A patent application has been filed for the invention "Method of interorbital maneuvering of a spacecraft" [2].

References:

1. Mirer S.A. Mechanics of space flight. Orbital motion. Study guide. Part 2. – M.: MIPT, 2013.

2. Ekimovskaya A.A. Method of interorbital maneuvering of a spacecraft. Patent application for invention RU No. 2021126157 dated 06.09.2021.

Перспективные направления работ и опережающие проекты, реализуемые АО «РКЦ «Прогресс», в области создания космических аппаратов дистанционного зондирования Земли с различной целевой аппаратурой

Егоров А.С., Субботин Д.Е., Михайленко Л.В., Маннанов М.З.
АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара, Россия

Важной особенностью космических аппаратов (КА) «Ресурс-П» является возможность комплексного наблюдения поверхности Земли за счёт установки на борту нескольких видов оптико-электронной аппаратуры (ОЭА):

• ОЭА «Геотон-Л1» высокого разрешения, позволяющая проводить панхроматическую съемку земной поверхности с разрешением лучше 1 м, а также получать спектрозональные снимки с разрешением 2- 3 м;

• Комплекс широкозахватных мультиспектральных съёмочных аппаратур;

• Гиперспектральная съёмочная аппаратура.

Разработка КА «Ресурс-ПМ» преследует цель поэтапного наращивания и повышения качества предоставляемых услуг потребителям космической информации за счет повышения детальности получаемой информации, многоспектральности съемки, расширения спектральных диапазонов, точности получаемой информации, увеличения ширины полосы съемки, получение гиперспектральной информации.

На борту КА «Ресурс-ПМ» будет установлено 2 типа ОЭА:

• Комплекс высокого разрешения, обеспечивающий съёмку земной поверхности с разрешением не более 0,4 м (в надир) в панхроматическом диапазоне и с разрешением 1,6 м в 8 спектральных диапазонах съёмки.

• Широкозахватный обзорный комплекс обеспечивает съёмку с разрешением не более 5 м в панхроматическом, не более 10 м в узких спектральных диапазонах.

АО «РКЦ «Прогресс» является разработчиком и оператором МКА «Аист-2Д», обеспечивая управление, приём и обработку получаемой информации.

В настоящее время МКА находится в режиме штатной эксплуатации, успешно выполняя свои задачи, работая на орбите более 6,5 лет.

На основе имеющегося в РКЦ «Прогресс» опыта создания МКА «Аист-2Д» в настоящее время ведется разработка космического комплекса ДЗЗ стереоскопической съёмки в составе двух МКА «Аист-2Т», предназначенных для формирования стереоскопических снимков, создания цифровых моделей местности и других задач.

На основе опыта и технических решений, полученных при создании МКА «Аист-2Д», предприятие разрабатывает универсальную платформу для построения МКА различного назначения. В её состав входит полный набор обеспечивающей аппаратуры, включая систему управление движением с высокими характеристиками по скорости и точности и антенные комплексы управления и передачи целевой информации на наземные пункты приёма.

Так, одним из перспективных КА ДЗЗ на базе универсальной платформы является оптический КА ДЗЗ высокодетального наблюдения. Целевая аппаратура данного КА обеспечивает сверхвысокодетальную съёмку земной поверхности в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра с разрешением 0,5 м в панхроматическом диапазоне и 2 м в четырех узких спектральных диапазонах.

Другим перспективным КА на базе универсальной платформы является КА обзорного наблюдения. Целевая аппаратура данного КА обеспечивает съёмку земной поверхности в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра с разрешением 1,7 м в панхроматическом диапазоне и 5,1 м в четырех узких спектральных диапазонах.

АО «РКЦ «Прогресс» располагает всеми необходимыми средствами для создания и сдаче заказчику «под ключ» оптико-электронных (сверхвысокодетальное, высокодетальное и обзорное наблюдение) и радиолокационных космических аппаратов, включая проектирование, создание, услуги по выведению на целевые орбиты ракета-носителем «Союз-2», лётно-конструкторские испытания и сдачу в эксплуатацию, а также создание наземного сегмента, обеспечивающего управление, приём и обработку целевой информации.

Perspective areas and advanced projects implemented by Progress Space-Rocket Centre JSC in the field of creating remote sensing sattelites with various sensors

Egorov A.S., Subbotin D.E., Mikhailenko L.V., Mannanov M.Z.
Progress Space-Rocket Centre JSC, Samara, Russia

Resurs-P sattelites.

An important feature of Resurs-P sattelites is the possibility of comprehensive observation of the Earth's surface by installing several types of optoelectronic equipment (OEA) on board:

• Geoton-L1 high-resolution OEA, which allows for panchromatic surveying of the Earth's surface with a resolution better than 1 m, as well as to obtain spectrosonal images with a resolution of 2-3 m;

• A complex of wide-ranging multispectral shooting equipment;

• Hyperspectral shooting equipment.

Resource-PM sattelites.

The development of the Resurs-PM sattelites pursues the goal of gradually increasing and improving the quality of services provided to consumers of space information by increasing the detail of the information received, multispectrality of the survey, expanding spectral ranges, accuracy of the information received, increasing the bandwidth of the survey, obtaining hyperspectral information.

2 types of OEA will be installed on board the Resurs-PM spacecraft:

• A high-resolution complex that provides a survey of the earth's surface with a resolution of no more than 0.4 m (in nadir) in the panchromatic range and with a resolution of 1.6 m in 8 spectral ranges of shooting.

• The wide-ranging survey complex provides shooting with a resolution of no more than 5 m in panchromatic, no more than 10 m in narrow spectral ranges.

Aist-2D satellite.

Progress Space-Rocket Centre JSC is the developer and operator of the Aist-2D, providing management, reception and processing of the received information.

Currently, the Aist-2D is in regular operation, successfully performing its tasks, working in orbit for more than 6.5 years.

Progress Space-Rocket Centre JSC the development of a stereoscopic remote sensing space complex consisting of two Aist-2T designed to form stereoscopic images, create digital terrain models and other tasks is currently underway.

Based on the experience and technical solutions obtained during the creation of the Aist-2D, the company is developing a universal platform for various purposes. It includes a complete set of supporting equipment, including a motion control system with high speed and accuracy characteristics and antenna complexes for controlling and transmitting target information to ground reception points.

Thus, one of the promising remote sensing spacecraft based on a universal platform is an optical remote sensing spacecraft of highly detailed observation. The target equipment of this spacecraft provides ultra-high-detail survey of the Earth's surface in the visible and near infrared spectral range with a resolution of 0.5 m in the panchromatic range and 2 m in four narrow spectral ranges.

Another promising spacecraft based on a universal platform is a surveillance spacecraft. The target equipment of this spacecraft provides a survey of the Earth's surface in the visible and near infrared spectral range with a resolution of 1.7 m in the panchromatic range and 5.1 m in four narrow spectral ranges.

Progress Space-Rocket Centre JSC has all the necessary means to create and deliver to the customer "turnkey" optoelectronic (ultra-high-detail, high-detail and surveillance) and radar spacecraft, including design, creation, services for launching the Soyuz-2 launch vehicle into target orbits, flight design tests and commissioning, as well as the creation of a ground segment that provides management, reception and processing of target information.

Функциональная модель управления качеством изделий авиационно-космической техники в условиях аддитивного производства

Загидуллин Р.С., Родионов Н.В.
Самарский университет, г. Самара, Россия

В настоящее время аддитивные технологии (3D-печать) находят широкое применение в производстве изделий авиационно-космической техники. 3D-печать имеет ряд преимуществ по сравнению в традиционными технологиями: возможность изготовления деталей и узлов сложной геометрической формы; возможность объединения деталей в сборочную единицу и его изготовления как единой детали; сокращение производственного цикла изделия; исключение разработки и изготовления технологической оснастки и инструмента; низкая себестоимость изготовления единичных и малых партий изделий; уменьшения влияния «человеческого фактора» при производстве изделий [1].

Вместе с тем, несмотря на очевидные преимущества 3D-печати, еще на этапе внедрения аддитивного оборудования на производстве сталкиваются с различного рода дефектами или

неудовлетворительными геометрическими параметрами напечатанных деталей и узлов. Дефекты напечатанных деталей и узлов могут быть вызваны как на этапе проектирования, так и на этапах предпечатной подготовки и изготовления – 3D-печати. Следовательно, возникает необходимость обеспечить сквозное развёртывание требований и качества системы проектирования, предпечатной подготовки и 3D-печати.

Для обеспечения сквозного развёртывания требований и качества системы проектирования, предпечатной подготовки и 3D-печати разработана функциональная модель управления качеством изделий авиационно-космической техники в условиях аддитивного производства на основе таких робастных подходов, как развертывание (структурирование) функции качества (Quality Function Deployment – QFD), анализ видов и последствий потенциальных несоответствий (Failure Mode and Effects Analysis – FMEA) и планирования экспериментов по методу Гэнъити Тагути [1-3].

Разработанная функциональная модель управления качеством на основе робастных подходов в совокупности с программными системами трехмерного моделирования и инженерного анализа позволит получить «робастные» изделия в условиях аддитивного производства и сократить расходы (на 20…30%) как на ранних этапах проектирования, так и на этапах изготовления и испытания.

Дальнейшие исследования будут направлены на апробацию разработанной функциональной модели управления качеством на производстве изделий авиационно-космической техники, в частности для проектирования и изготовления кронштейнов для приборов ракет-носителей.

Литература:

1. ГОСТ Р 59037/CEN/TS 16555-4:2014 Аддитивные технологии. Конструирование металлических изделий. Руководящие принципы. М.: Стандартинформ, 2020. 11 с.

2. Дмитриев А.Я., Митрошкина Т.А., Вашуков Ю.А. Робастное проектирование и технологическая подготовка производства изделий авиационно-космической техники: учеб. пособие. Самара: Изд-во СГАУ, 2016. 76 с.

3. Dmitriev A.Ya., Zagidulin R.S., Mitroshkina T.A. Special aspects of quality assurance in the design, manufacture, testing of aerospace engineering products / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 714 012006. DOI: 10.1088/1757-899X/714/1/012006.

4. Zagidullin R.S., Antipov D.V., Dmitriev A. Ya., Zezin N.I. Development of a methodology for eliminating failures of an FDM 3d printer using a "failure tree" and FMEA analysis / Journal of physics: conference series. 2021. Vol. 1925 012085. DOI:10.1088/1742-6596/1925/1/012085.

Functional model of quality management of aerospace products in the context of additive manufacturing

Zagidullin R.S., Rodionov N.V.

Samara University, Samara, Russia

At present, additive technologies are widely used in the production of aerospace products. 3D printing has a number of advantages over traditional technologies: the ability to manufacture parts and assemblies of complex geometric shapes; the ability to combine parts into an assembly unit and manufacture it as a single part; reduction of the production cycle of the product; exclusion of the development and manufacture of technological equipment and tools; low cost of manufacturing single and small batches of products; reducing the influence of the "human factor" in the production of products [1].

At the same time, despite the obvious advantages of 3D printing, even at the stage of introducing additive equipment in production, they face various kinds of defects or unsatisfactory geometric parameters of printed parts and assemblies. Defects in printed parts and assemblies can be caused both at the design stage and at the stages of prepress preparation and manufacturing - 3D printing. Therefore, there is a need to provide end-to-end deployment of the requirements and quality of the design, prepress and 3D printing system.

To ensure the end-to-end deployment of the requirements and quality of the design system, prepress and 3D printing, a functional model for managing the quality of aerospace products in additive

manufacturing conditions has been developed based on such robust approaches as Quality Function Deployment (QFD), Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) and design of experiments using the Genichi Taguchi method [1-3].

The developed functional model of quality management based on robust approaches in conjunction with software systems for three-dimensional modeling and engineering analysis will make it possible to obtain "robust" products under additive manufacturing conditions and reduce costs (by 20...30%) both at the early design stages and at the manufacturing stages. and testing.

Further research will be aimed at approbation of the developed functional model of quality management in the production of aerospace products, in particular for the design and manufacture of brackets for launch vehicle instruments.

1. GOST R 59037/CEN/TS 16555-4:2014 Additive technologies. Design of metal products. Guidelines. Moscow: Standartinform, 2020. 11 p.

2. Dmitriev A.Ya., Mitroshkina T.A., Vashukov Yu.A. Robust design and technological preparation for the production of aerospace products: textbook. allowance. Samara: SSAU Publ., 2016. 76 p.

3. Dmitriev A.Ya., Zagidulin R.S., Mitroshkina T.A. Special aspects of quality assurance in the design, manufacture, testing of aerospace engineering products / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020 Vol. 714 012006. DOI: 10.1088/1757-899X/714/1/012006.

4. Zagidullin R.S., Antipov D.V., Dmitriev A. Ya., Zezin N.I. Development of a methodology for eliminating failures of an FDM 3d printer using a "failure tree" and FMEA analysis / Journal of physics: conference series. 2021. Vol. 1925 012085. DOI:10.1088/1742-6596/1925/1/012085.

Анализ теплопередачи в экранно-вакуумной теплоизоляции при механическом воздействии

Зинкевич В.П.

МАИ, г. Москва, Россия

Одной из основных пассивных систем терморегулирования в космической технике является экранно-вакуумная теплоизоляция (ЭВТИ). Установленная на изделие ЭВТИ представляет собой пакет переменной плотности, что сказывается на ее характеристиках. [1, 2, 3] Существующие модели демонстрируют только характер зависимости, но не описывают причины изменения теплового потока, а некоторые параметры системы невозможно определить напрямую и требуется последующая обработка результатов испытаний, определение граничных условий, коэффициентов теплопереноса. [4] При этом для пакета ЭВТИ многие характеристики зависят от его размера, геометрических параметров и технологии изготовления и установки.

В связи с этим большое значение имеет составление математической модели, описывающей не идеальную, а реальную систему. Имеющиеся модели не учитывают теплообмен в ближнем поле. Теплообмен в ближнем поле представляет собой один из видов радиационного теплообмена, вызываемый взаимодействием неоднородных электромагнитных волн. Он возникает на расстояниях между телами меньших, чем характерная длина волны излучения при данной температуре, и может оказывать существенное влияние на величину теплового потока. [5]

Таким образом, можно представить экраны ЭВТИ как параллельные пластины, разделенные вакуумным зазором. Тогда тепловой поток между ними будет представлять сумму конвективного, кондуктивного и радиационного теплового потока, где излучение представит собой сумму теплового потока по закону Стефана-Больцмана и излучения в ближнем поле.

Расстояния, на которых начинают оказывать влияние неоднородные волны, увеличиваются при снижении температуры, поэтому, несмотря на относительно большую ширину зазора, обеспечиваемую сепаратором, тепловой поток в ближнем поле может превышать тепловой поток по классическому закону, что не определяется по традиционным моделям.

Математическая модель, учитывающая ближнее поле, позволит лучше прогнозировать характеристики ЭВТИ на этапе проектирования и повысит точность анализа результатов тепловой отработки изделия.

1. W.L. Johnson. Thermal analysis of low layer density multilayer insulation test results // AIP Conference Proceedings. 2012. Vol. 1434. P. 1519-152.
2. C. Zhang, C. Li, W. Jia, Y. Pang. Thermodynamic study on thermal insulation schemes for liquid helium storage tank // Applied Thermal Engineering. 2021. Vol. 195. 117185.
3. Shun Okazaki, Haruo Kawasaki, Masahide Murakami, Hiroyuki Sugita, Yasurou Kanamori. Influence of processing on thermal performance of space use multilayer insulation // Journal of Thermophysics and Heat Transfer. 2014. Vol. 2, No.2. P. 334-342.
4. Alifanov, O.M., Nenarokomov, A.V., and Gonzalez, V.M. Study of multilayer thermal insulation by inverse problems method // Acta Astronautica. 2009, 65. P. 1284–1291.
5. Дмитриев А. С. Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2019. 790 с.

Analysis of heat transfer in multilayer insulation under mechanical action

Zinkevich V.P.
MAI, Moscow, Russia

Multilayer insulation (MLI) is one of main spacecraft thermal control systems. MLI installed on a spacecraft has the form of variable density blanket, which affects its characteristics. [1, 2, 3] Existing models demonstrate only the nature of the dependence, but do not describe the reasons for the change in heat flux, and some system parameters cannot be determined directly, and processing of test results, determination of boundary conditions and heat transfer coefficients are required. [4] At the same time, many characteristics of MLI blanket depend on its size, geometric parameters, and fabrication and installation technology.

In this regard, the compilation of a mathematical model that describes not an ideal, but a real system is of great importance. Available models do not take into account near field heat transfer. Near field heat transfer is one of the types of radiative heat transfer caused by the interaction of evanescent electromagnetic waves. It occurs at distances between bodies smaller than the characteristic wavelength of radiation at a given temperature, and can have a significant effect on the magnitude of the heat flux. [5]

Thus, MLI screens can be represented as parallel plates separated by a vacuum gap. Then the heat flux between them will be the sum of the convective, conductive and radiative heat flux, where the radiation will be the sum of the heat flux calculated by the Stefan-Boltzmann law and near field radiation.

The distances of evanescent waves affect increase with decreasing temperature; therefore, despite the relatively large gap width provided by the separator, the heat flux can exceed the heat flux calculated by the classical law, which is not determined by traditional models.

A mathematical model that takes into account the near field will make possible to predict the characteristics of the MLI with better accuracy during development and increase the accuracy of the analysis of the thermal testing results.

1. W.L. Johnson. Thermal analysis of low layer density multilayer insulation test results // AIP Conference Proceedings. 2012. Vol. 1434. P. 1519-152.
2. C. Zhang, C. Li, W. Jia, Y. Pang. Thermodynamic study on thermal insulation schemes for liquid helium storage tank // Applied Thermal Engineering. 2021. Vol. 195. 117185.
3. Shun Okazaki, Haruo Kawasaki, Masahide Murakami, Hiroyuki Sugita, Yasurou Kanamori. Influence of processing on thermal performance of space use multilayer insulation // Journal of Thermophysics and Heat Transfer. 2014. Vol. 2, No.2. P. 334-342.
4. Alifanov, O.M., Nenarokomov, A.V., and Gonzalez, V.M. Study of multilayer thermal insulation by inverse problems method // Acta Astronautica. 2009, 65. P. 1284–1291.
5. Dmitriev A.S. Vvedenie v nanoteplofiziku. – M. : BINOM. Laboratoriya znaniy, 2019. – 790 pp.

Исследования утилизируемых конструкций отделяющихся частей ракет-носителей

Иордан Ю.В.
ОмГТУ, г. Омск, Россия

При проектировании ракетно-космической техники не рассматривается важный этап жизненного цикла изделия – его утилизация. Окончание этапа эксплуатации ракетно-космической техники сопряжено с появлением ряда проблем: экологических – выделение площадей под районы падения отработавших частей ракет-носителей, и экономических, связанных с выведением из хозяйственного оборота этих площадей, поиском, разделкой, вывозом и последующей утилизацией отработавших частей [1].

Предложена концепция утилизации отработавших частей ракет-носителей путем сжигания на атмосферном участке траектории спуска, основанная на замене материалов конструкции на синтезированный полимерный композиционный материал, удовлетворяющий не только требованиям при решении целевых задач, но и последующей утилизации [3]. Рассматривается одна из задач в рамках выдвинутой концепции: определение геометрического облика из синтезированного полимерного композиционного материала из условий: а) обеспечения требуемой термопрочности на участке выведения; б) обеспечения утилизации путем сжигания на траектории спуска в заданном интервале полета. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований образцов конструкций, выполненных из полимерных композиционных материалов и высокоэнергетических материалов.

Литература:

1. Авдошин В.В. Проблемные вопросы использования трасс запусков космических аппаратов и районов падения отделяющихся частей ракет космического назначения: монография / В.В. Авдошкин, Н.Ф. Аверкиев, А.А. Ардашов и др.; под ред. А.С. Фадеева, Н.Ф. Аверкиева. – СПб.:ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – 372 с.

2. Trushlyakov, V. I. Methodology for the Design of Combustible Structures of Separating Launch Vehicle Parts / V. I. Trushlyakov, A. V. Panichkin // Journal of Spacecraft and Rockets. – 2021. – DOI: 10.2514/1.A34920.

3. Trushlyakov, V.I. Development of proposals for the synthesis of polymer composite materials capable of combustion after the mission / V.I. Trushlyakov, Yu. V. Iordan, D.Yu. Davydovich // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – 1134(1), 012061. DOI 10.1088/1742-6596/1134/1/012061.

Studies structures disposal of separable parts of launch vehicles

Iordan Y.V.
OmSTU, Omsk, Russia

When designing rocket and space technology, an important stage of the product's life cycle is not considered – its disposal. The end of the operation phase of rocket and space technology is associated with the emergence of a number of problems: environmental – the allocation of areas for the fall areas of spent parts of launch vehicles, and economic, related to the removal from economic circulation of these areas, search, cutting, removal and subsequent disposal of spent parts [1].

The concept of disposal of spent parts of launch vehicles by incineration in the atmospheric section of the descent trajectory is proposed, based on the replacement of structural materials with a synthesized polymer composite material that meets not only the requirements for solving target tasks, but also subsequent disposal [3]. One of the tasks within the framework of the proposed concept is considered: determining the geometric appearance of a synthesized polymer composite material from the conditions: a) ensuring the required thermal resistance at the removal site; b) ensuring disposal by incineration on the descent trajectory in a given flight interval. The results of theoretical and experimental studies of samples of structures made of polymer composite materials and high-energy materials are presented.

References:

1. Avdoshin V.V. Problematic issues of the use of spacecraft launch routes and fall areas of separating parts of space rockets: monograph / V.V. Avdoshkin, N.F. Averkiev, A.A. Ardashov et al.; edited by A.S. Fadeev, N.F. Averkiev. – St. Petersburg: A.F. Mozhaisky VKA, 2016. – 372 p.

2. Trushlyakov, V. I. Methodology for the Design of Combustible Structures of Separating Launch Vehicle Parts / V. I. Trushlyakov, A. V. Panichkin // Journal of Spacecraft and Rockets. – 2021. – DOI: 10.2514/1.A34920.

3. Trushlyakov, V.I. Development of proposals for the synthesis of polymer composite materials capable of combustion after the mission / V.I. Trushlyakov, Yu. V. Iordan, D.Yu. Davydovich // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – 1134(1), 012061. DOI 10.1088/1742-6596/1134/1/012061.

Методика определения оптимальных проектных параметров многоразовых ракет-носителей

Катков В.А., Марюшина З.Л.
МАИ, г. Москва, Россия

Научно-технический прогресс в XXI в. в значительной степени будет определяться уровнем освоения космического пространства. В ближайшей перспективе эффективное использование космоса может быть обеспечено за счет применения многоразовых транспортных космических систем (МТКС). К основным преимуществам МТКС относят:

• Снижение затрат на выведение полезной нагрузки в космос;

• Улучшение экологических показателей за счет возврата ступеней: исключение падения блоков транспортных средств и засорения околоземных орбит;

• Спасение груза при возможных отказах носителя.

В числе возможных типов перспективных МТКС обычно рассматриваются:

• Системы выведения авиационного базирования;

• Частично многоразовые носители с возвращаемой первой ступенью;

• Полностью многоразовые двухступенчатые и одноступенчатые ТКС.

Многообразие возможных проектных решений МТКС обусловливает необходимость проведения проектного анализа альтернативных вариантов средств выведения с целью выявления наиболее рационального проектного решения, обеспечивающего минимум суммарных затрат на выполнение транспортной программы.

При решении поставленной задачи, помимо традиционных методов выбора проектных параметров, обеспечивающих требуемые летно-технические характеристики носителя, необходимо провести дополнительные исследования по обоснованию согласованных уровней надежности, ресурса и массовых характеристик систем ТКС.

По результатам доклада можно сделать следующие выводы:

1. Предложен критерий выбора проектных решений, учитывающий широкий спектр проектных, производственных и эксплуатационных факторов.

2. Получены рекомендации по обоснования ресурса многоразовых систем носителя.

3. Разработан алгоритм выбора основных проектных параметров многоразовых ракет-носителей.

4. Показано, что для многоразовых носителей распределение масс по ступеням смещается в сторону увеличения размерности спасаемой ступени.

Methodology for determining optimal design parameters of reusable launch vehicles

Katkov V.A., Maryushina Z.L.
MAI, Moscow, Russia

Scientific and technological progress in the XXI century will be largely determined by the level of space development. In the short term, the efficient use of space could be achieved through the use of reusable space transportation systems (RSTS). The main advantages of RSTS include:

• Reducing the cost of launching a payload into space;

• Improving environmental performance through step-back: avoiding vehicle block crashes and near-Earth orbit debris;

• Salvage if the carrier fails.

Possible types of prospective RSTS are usually considered:

• Air-based Launch Systems;

• Partially reusable vehicle with return first stage;
• Fully reusable two-stage and one-step STS.

Variety of possible design solutions RSTS requires a project analysis of alternative means of disposal to identify the most appropriate design solution, providing a minimum total cost of the transport program.

In solving the assigned task, except traditional methods of selecting project parameters, providing the required carrier performance, further research is needed to substantiate the agreed levels of reliability, resource and mass characteristics of STS systems.

According to the results of the article:

1. The criterion of choice of design decisions, which takes into account a wide range of design, production and operational factors, is offered.
2. Recommendations on substantiation of resource of reusable systems of carrier are received.
3. Algorithm of selection of basic design parameters of reusable launch vehicles developed.
4. It is shown that for reusable carriers the mass distribution of the steps is shifted towards increasing the dimension of the step to be rescued.

Исследование движения космического буксира с малой тягой для увода космического объекта с орбиты при использовании гарпуна и тросовой системы

Ким Хаён, Юн С.У., Николичев И.А.
[1]МАИ, г. Москва, Россия

В последнее время становятся актуальными вопросами ухудшения состояния космического пространства из-за появления космического мусора. В связи с этим, в некоторых странах предлагаются способы решения по уменьшению космического мусора. Технология, которая непосредственно удаляет космического мусора, называется «активной технологией космического мусора». Согласно прошлым исследованиям, учитывающим различные условия, метод с использованием гарпуна и тросовой буксировки считается наиболее перспективным. [1].

В данном исследовании рассматривается процесс увода космического мусора (КМ) с низкой околоземной орбиты активным методом – метод тросовой буксировки. Предполагается, что процесс уборки космического мусора состоит из трех этапов: захват космического объекта гарпуном, разматывание троса, буксировка [2].

При разматывании троса проводилось численное моделирование оптимального движения буксира с использованием принципа максимума Понтрягина. В результате моделирования определить минимальное время разматывания с различными значениями начальной массы буксира.

На этапе развертывания троса, космический объект вращается во круг центра масс. В связи с этим необходимо исследовать вращение захваченного объекта в процессе уборки. В работе представляется подход моделирования вращения объекта в ходе разматывания троса.

На последнем этапе тросовой буксировки, движение объекта и буксира моделировалось с помощью уравнений относительного движения (при действии силы натяжения троса). Чтобы учитывать изменение параметров орбиты (сход с орбиты), предлагается использовать математическую модель на базе теории движения материальной точки, так как длина троса существенно мала по сравнению с радиусом орбиты буксира (т.е. здесь движение вокруг центра масс не рассматривается).

Выполнено численное моделирование уборки верхней ступени ракеты-носителя с использованием предлагаемого подхода. По сравнению с предыдущими исследованиями [2] рассматривается изменения массы топлива и массы буксира. Это становится условием, более близким к реальности. Результаты исследования могут быть использованы для выполнения миссии по уборке космического мусора с низких околоземных орбит.

A Study on the Motion of a Space Tug with Low-Thrust to De-orbit Space Object Using Harpoon and Tether System

Ким Хаён, Yoon S.W., Nikolichev I.A.
[1]MAI, Moscow, Russia

Recently, international interest in the deterioration of the space environment caused by space waste has grown. Solutions to reduce space debris are being proposed, especially in advanced space countries. Among several techniques the technique of direct removing space debris is called “active removal technology”. According to previous studies that consider various conditions, the tether method is evaluated as the most promising [1].

This study studies the process of removing space debris (SD) from low Earth orbit by active methods - tether towing with a harpoon method. It is assumed that the process of cleaning up space debris consists of three stages: the capture of a space object by a harpoon, the loosening of a cable, and towing [2].

During the loosening of the cable, numerical simulation for the optimal movement of the tug was carried out using the Pontryagin’s maximum principle. As a result of the simulation, we will determine the minimum unwinding time with different values of the initial mass of the tug.

While loosening the rope, the space object rotates around the center of mass. In this regard, it is necessary to investigate the rotation of the captured object during the catching process. This paper presents an approach for modeling the rotation of an object during the loosening of a cable.

At the stage of rope towing, the movement of the object and tug was modeled using the equations of relative motion (under the tension force is applied). To change orbit parameters (de-orbit), it is proposed to use a mathematical model based on the theory of motion of a material point, since the length of the tether is significantly small compared to the radius of the tug's orbit (the movement around the center of mass is not considered here).

Numerical modeling of the cleaning of the upper stage of the launch vehicle was performed using the proposed approach. This study is characterized by trying to make it more similar to the actual situation, considering the changing amount of fuel and the resulting change in object weight. The results of the study can be used for missions to clean up space debris from low Earth orbits.

Исследование и расчет тепловой защиты агрегата автоматической межпланетной станции “Венера-Д” в экстремальных условиях эксплуатации

Ковешников А.А., Палешкин А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Для обеспечения успешной исследовательской миссии на Венеру, учитывая суровые условия пребывания на ее поверхности, требуется обеспечить должную тепловую защиту управляющих и научных приборов спускаемого аппарата.

На отечественной автоматической межпланетной станции “Венера-Д”, которую планируют запустить уже в 2030-х годах, планируется установить манипулятор с грунтозаборным устройством. Манипулятор приводится в действие электромотором с редуктором, но, в связи с особенностями эксплуатации данного устройства в экстремальных условиях и его конструктивных особенностей, необходимо предусмотреть тепловую защиту агрегата для достижения требуемых температур при его функционировании в окружающем пространстве.

В работе предлагается обеспечить такую тепловую защиту привода, где ключевую роль в обеспечении теплового режима будет играть тепловой аккумулятор с фазовым превращением вещества. Разработаны конструктивное решение и математическая модель термодинамических процессов, происходящих в процессе эксплуатации грунтозаборного устройства. Результатом решения вычислительного эксперимента будет являться выбор оптимальных материалов (теплоизоляции и теплового аккумулятора) и геометрии (форма кожуха, его толщина, ориентация в пространстве) тепловой защиты для достижения наименьшей массы изделия.

Investigation and calculation of thermal protection of the Venera-D automatic interplanetary station unit under extreme operating conditions

Koveshnikov A.A., Paleshkin A.V.
MAI, Moscow, Russia

To ensure a successful research mission to Venus, given the harsh conditions on its surface, it is necessary to ensure proper thermal protection of the control and scientific instruments of the lander.

At the domestic automatic interplanetary station “Venus-D”, which is planned to be launched already in the 2030s, it is planned to install a manipulator with a ground intake device. The manipulator is powered by an electric motor with a gearbox, but, due to the peculiarities of the operation of this device in extreme conditions and its design features, it is necessary to provide thermal protection of the unit to achieve the required temperatures when it operates in the surrounding space.

The paper proposes to provide such thermal protection of the drive, where a key role in ensuring the thermal regime will be played by a thermal accumulator with a phase transformation of matter. A constructive solution and a mathematical model of thermodynamic processes occurring during the operation of a soil-collecting device have been developed. The result of solving the computational experiment will be the choice of optimal materials (thermal insulation and heat accumulator) and geometry (shape of the casing, its thickness, orientation in space) of thermal protection to achieve the lowest mass of the product.

Оценка массогабаритных и энергетических показателей системы медицинского обеспечения космонавта для космических полетов в дальний космос

Кудрявцева Н.С., Белозерова И.Н.
МАИ, г. Москва, Россия

Система медицинского обеспечения (СМО) космонавта входит в состав комплекса систем обеспечения жизнедеятельности космонавта (КСОЖ) и включает медико-технические средства медицинского контроля, профилактики, диагностики и лечения, а также систему защиты космонавта от факторов космической среды и движения, обеспечивающие управление функциональным состоянием космонавта в пилотируемом космическом аппарате (КА).

Рассматривается задача предварительной оценки состава, массогабаритных и энергетических характеристик СМО и КСОЖ космонавта для полета четырех человек сроком на 1000 суток с орбиты Земли до орбиты Марса и обратно для российского проекта межпланетного орбитального корабля (МОК) в условиях множества упрощений и неопределенностей [1]. Результаты исследований могут представлять интерес для этапа предпроектных исследований, на котором принимаются концептуальные решения по составу СМО и КСОЖ.

В качестве системы жизнеобеспечения (СЖО), входящей в состав КСОЖ, рассматривается частично-замкнутая СЖО, обладающая наилучшими надежностными и массо-энергетическими характеристиками для рассматриваемого сценария экспедиции на Марс [2]. Однако, витаминная оранжерея из состава КСОЖ исключается, так как ее установка на МОК существенно повысит массу и объем СЖО при снижении надежности СЖО и, следовательно, безопасности полета.

Показано, что суммарные установочные масса и объем СМО вместе с системой защиты космонавта равны 2,3 т и 12 м3, а требуемое электропотребление - 5150 Вт, что составляет 14%, 29% и 75% от соответствующих характеристик всей КСОЖ для рассматриваемого сценария полета на Марс.

Литература:

1. Belozerova I.N., Kudryavtseva N.S. Characteristics of the Medical Support System for Interplanetary Flight // Russian Engineering Research. 2021. Vol. 41. № 12. – pp. 1217-1220.

2. Кудрявцева Н.С. Анализ показателей надежности и эквивалентной массы систем жизнеобеспечения для полетов в дальний космос // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53. № 3. С. 5-12.

Assessment of mass, size, and power metrics of the cosmonaut's medical support system for space flights into deep space

Kudryavtseva N.S., Belozerova I.N.
MAI, Moscow, Russia

The medical support system (MSS) of a cosmonaut is part of the Cosmonaut's life and activity support system complex (CLSS) and includes medical and technical means of medical control, prevention, diagnosis and treatment, as well as a system for protecting the astronaut from factors of the space environment and motion, providing control of the astronaut's functional state in a manned spacecraft (SC).

The problem of a preliminary assessment of the composition, mass, size and power characteristics of the cosmonaut's MSS and CLSS for a flight of four crew members for a period of 1000 days from the Earth's orbit to the Mars orbit and back for the Russian project of an interplanetary orbital spacecraft (IOC) is considered under the conditions of many simplifications and uncertainties [1]. The results of the research may be of interest for the stage of pre-project research, at which conceptual decisions are made on the composition of the MSS and CLSS.

As a life support system (LSS), which is part of the CLSS, a partially closed LSS is considered, which has the best reliability and mass-energy characteristics for the considered scenario of an expedition to Mars [2]. However, a vitamin greenhouse is excluded from the composition of the LSS, since its installation on the IOC will significantly increase the mass and volume of the LSS while reducing the reliability of the LSS and, consequently, flight safety.

It is shown that the total installation mass and volume of the MSS together with the cosmonaut's protection system are 2.3 tons and 12 m^3, and the required power consumption is 5150 Watts, which is 14%, 29% and 75% of the corresponding characteristics of the entire CLSS for the considered flight scenario to Mars.

References:

1. Belozerova I.N., Kudryavtseva N.S. Characteristics of the Medical Support System for Interplanetary Flight // Russian Engineering Research. 2021. Vol. 41. № 12. – pp. 1217-1220.

2. Kudryavtseva N.S. Analysis of Reliability and Equivalent Mass of Life Support Systems for Remote Space Missions // Aerospace and Environmental medicine. 2019. V. 53. # 3. Pp. 5-12.

Применение малогабаритных КА для исследования Марса

Кучейко А.А., Ткачук М.О., Литвинович Н.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Освоение Марса- давняя мечта человечества, которая с каждым годом становится все реальнее. Осуществление миссии на Марс позволит нам провести более глубокие наблюдательные исследования планеты, а также отработку новых и уже существующих технологий. В данной работе мы сконструировали орбитальную группировку малых космических аппаратов, которые предлагается использовать в качестве полезной нагрузки ракеты-носителя в программе по исследованию и освоению Марса.

С целью допуска меньшей доли ошибок был произведен анализ аналогичных уже существующих (MasCO или Mars Cube One), а также только планируемых, но подающих большие надежды миссий (CubeSat UV Experiment – CUVE; Europa Clipper, Artemida 1) с использованием малых космических аппаратов. На основании обнаруженных просчетов были учтены возможные сложности в данной работе.

Важную часть исследования составили расчеты и вычисления. В том числе для поэтапного пути космического аппарата от начальной точки к конечной. Были рассчитаны стартовые окна путем задания необходимых параметров, таких как максимальная скорость, продолжительность полета, учет комет и астероидов и т.д. Также во внимание были взяты уже выведенные формулы и теоретические заключения. Для подсчета необходимых расстояний и скоростей были использованы космические карты. Предположительно было установлено, что ближайшим возможным годом запуска будет 2026.

В ходе работы были выделены следующие модули: наноспутник формата CubeSat 12U, основными задачами которого станут обеспечение связи и сбор данных о магнитных

аномалиях планеты; аппарат того же формата, занимающийся получением детальных инфракрасных изображений поверхности Марса; наносат измерения радиационной обстановки. Также предлагается использовать два малых космических аппарата, один из которых будет обеспечивать стыковку вышеупомянутых модулей с наноспутником формата CubeSat 12U, который в свою очередь будет отвечать за подачу электроэнергии и ориентацию полета. Каждый модуль включает в себя: бортовой комплекс управления, систему электроснабжения и стыковки.

The use of small-sized spacecraft for the exploration of Mars

Kucheiko A.A., Tkachuk M.O., Litvinovich N.V.
MAI, Moscow, Russia

The exploration of Mars is an old dream of mankind, which every year becomes more and more real. The implementation of the mission to Mars will allow us to conduct deeper observational studies of the planet, as well as the development of new and existing technologies. In this work, we have designed an orbital constellation of small spacecraft, which are proposed to be used as a payload of a launch vehicle in the program for the exploration and development of Mars.

In order to allow a smaller proportion of errors, an analysis was made of similar already existing ones (MasCO or Mars Cube One), as well as only planned, but promising missions (CubeSat UV Experiment - CUVE; Europa Clipper, Artemida 1) using small spacecraft. Based on the miscalculations found, possible difficulties in this work were taken into account.

An important part of the study was calculations and calculations. Including for the stage-by-stage path of the spacecraft from the starting point to the end point. Launch windows were calculated by setting the necessary parameters, such as maximum speed, flight duration, accounting for comets and asteroids, etc. Also, already derived formulas and theoretical conclusions were taken into account. Space maps were used to calculate the required distances and speeds. It was presumably determined that the nearest possible launch year would be 2026.

During the work, the following modules were identified: CubeSat 12U format nanosatellite, the main tasks of which will be to provide communication and collect data on the planet's magnetic anomalies; a device of the same format, which is engaged in obtaining detailed infrared images of the surface of Mars; apply measurements of the radiation situation. It is also proposed to use two small spacecraft, one of which will ensure the docking of the above modules with the CubeSat 12U nanosatellite, which in turn will be responsible for power supply and flight orientation. Each module includes: onboard control system, power supply and docking system.

Спускаемый аппарат для посадки на Марс

Лаута М.О., Нетелев А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Для современных космических систем характерны конструкции, которые способные работать в широком диапазоне тепловых нагрузок. Одним из таких примеров является спускаемый аппарат. Здесь представлены результаты разработки облика спускаемого аппарата, предназначенного для движения в атмосфере Марса. На начальном этапе был выбран перечень целевого и служебного оборудования, составлена массово-габаритная сводка и сводка энергопотребления. Геометрия аппарата –закругленный конус с углом раствора 450, выбиралась с учетом опыта существующих прототипов (ExoMars, Марс-3).

На следующем этапе были рассчитаны основные траекторные параметры при движении аппарата в атмосфере Марса по баллистической траектории с торможением парашютом на финальном участке траектории.

Для расчета толщины разрушающегося теплозащитного покрытия лобового тормозного экрана были параллельно решены внешняя и внутренняя задачи теплообмена. Оценка плотности теплового потока на нагреваемой поверхности проводилась с помощью гипотезы Фея-Ридэла. Внутренняя задача решалась в одномерной постановке с учетом термодеструкции и фильтрации пиролизного газа через разлагающийся материал. Процесс деструкции описывался уравнением Аррениусовского типа. Был проведен расчет поля

температур и определена толщина разрушающейся теплозащиты в передней критической точке и на звуковой линии.

Полученные результаты позволили разработать конструкцию теплозащитного экрана и герметичного корпуса спускаемого аппарата.

1. Авдонин А.С. «Прикладные методы расчёта оболочек и тонкостенных конструкций».

2. В.Ф.Формалев, Д.Л.Ревизников «Численные методы».

Работа выполнена в рамках государственного задания № FSFF-2020-0016.

Lander for landing on Mars

Lauta M.O., Netelev A.V.

MAI, Moscow, Russia

Modern space systems are characterized by designs that are capable of operating in a wide range of thermal loads. One such example is the lander. Here are the results of the development of the appearance of the lander, designed to move in the atmosphere of Mars. At the initial stage, a list of target and service equipment was selected, a mass-dimensional summary and a summary of energy consumption were compiled. The geometry of the device – a rounded cone with a solution angle of 45 degrees, was chosen taking into account the experience of existing prototypes (ExoMars, Mars-3).

At the next stage, the main trajectory parameters were calculated when the device was moving in the Martian atmosphere along a ballistic trajectory with parachute braking on the final section of the trajectory.

To calculate the thickness of the collapsing thermal protective coating of the frontal brake shield, external and internal heat transfer problems were solved in parallel. The heat flux density on the heated surface was estimated using the Fey-Ridel hypothesis. The internal problem was solved in a one-dimensional formulation, taking into account the thermal degradation and filtration of pyrolysis gas through decomposing material. The process of destruction was described by an Arrhenius-type equation. The temperature field was calculated and the thickness of the collapsing thermal protection at the front critical point and on the sound line was determined.

The results obtained made it possible to develop the design of a heat shield and a sealed body of the descent vehicle.

1. Avdonin A.S. "Applied methods for calculating shells and thin-walled structures".

2. V.F. Formalev, D.L.Reviznikov "Numerical methods".

The work was carried out within the framework of the state task No. FSFF-2020-0016.

Системно-инженерный подход к автоматизированному проектированию низкоорбитального дополнения к системе ГЛОНАСС и другим ГНСС

Леонидов Н.В.

АО «ИСС», г. Железногорск, Россия

Применительно к исследованию сложных технических систем реализация принципов системного подхода состоит в том, что сначала рассматривается система в целом, ее функционирование во внешней среде, а затем выполняется деление ее на составляющие подсистемы, рассмотрение связей между ними и т.д. (макроподход и микроподход соответственно) для определения внутренних и внешних взаимосвязей.

Переходя на математический язык, данная структура, по сути, является графом. Причем каждая вершина графа является векторным столбцом. Векторы ориентированы в общем многомерном пространстве в коррелированных направлениях, т.к. между ними имеются взаимосвязи. В дальнейшем для удобства представления и более глубокого анализа структура проектных взаимосвязей будет представляться в качестве векторного пространства. А итоговый проект будет результирующей всех векторов. Завершение итерационного цикла, как и всегда, происходит после выполнения условия невязки. Однако говоря о выполнении условия завершения, полезно выяснить в начале анализа будет ли решение обладать свойством сходимости, чтобы не обнаружить позднее, что решения не существует. Это позволит внести своевременные изменения в техническое задание.

Отдельно необходимо учитывать чрезвычайно важный ресурс – время, затрачиваемое на осуществление проекта. При современных ускоренных темпах научно-технического прогресса предельное сокращение сроков проектирования становится одним из главных требований к процессу создания системы. В случае увеличения этих сроков новизна технических решений теряется, и проект может морально устареть до его осуществления, а финансовые инвестиции, вложенные в его реализацию потерять свою рентабельность.

Проектирование системы и производство КА

Для сокращения сроков и расхода ресурсов, в т.ч. человеческих, временные затраты должны быть предельно смещены к разработке, сокращая сроки производства детальной проработкой решений, которые в свою очередь следует максимально автоматизировать.

Итерационный цикл автоматического проектирования в первом приближении может быть построен таким образом:

Исходными данными для проектирования являются требования к выполнению целевой задачи. На первом шаге итерации происходит комбинирование, либо подтверждение набора проектных параметров и их взаимосвязей, а также определяются условия невязок и пределы возможностей варьирования каждого из параметров (граничные условия). Вторым шагом определяется ряд геометрий возможных созвездий, которые смогут выполнять целевое назначение в полном объеме.

На основе геометрии каждого созвездия выдаются требования к КА. После получения требований, используется автоматическое предварительное проектирование облика КА в заданных граничных условиях. Далее идет аналитическая обработка результатов всех релевантных веток проектирования. В случае необходимости цикл повторяется, начиная с выбора невязок и граничных условий. По завершению итерационного цикла на выходе получается предельно оптимизированная система.

A system engineering approach to the automated design of the low-orbit addition to the GLONASS system and other GNSS

Leonidov N.V.
JSC “ISS”, Zheleznogorsk, Russia

With regard to the study of complex technical systems, the implementation of the principles of the system approach consists in first considering the system as a whole, its functioning in the external environment, and then dividing it into component subsystems, considering the connections between them, etc. (macro-approach and micro-approach, respectively) to determine internal and external relationships.

Switching to mathematical language, this structure is, in fact, a graph. Moreover, each vertex of the graph is a vector column. Vectors are oriented in a common multidimensional space in correlated directions, because there are relationships between them. In the future, for the convenience of presentation and deeper analysis, the structure of project relationships will be presented as a vector space. And the final project will be the resultant of all vectors. The completion of the iteration cycle, as always, occurs after the discrepancy condition is met. However, speaking about the fulfillment of the completion condition, it is useful to find out at the beginning of the analysis whether the solution will have the convergence property, so as not to discover later that there is no solution. This will allow you to make timely changes to the terms of reference.

Separately, it is necessary to take into account an extremely important resource – the time spent on the implementation of the project. With the modern accelerated pace of scientific and technological progress, the maximum reduction in design time becomes one of the main requirements for the process of creating a system. In the event of an increase in these deadlines, the novelty of technical solutions is lost, and the project may become obsolete before its implementation, and the financial investments invested in its implementation lose their profitability.

System design and production of spacecraft

In order to reduce the time and resource consumption, including human resources, time costs should be extremely shifted to development, reducing the production time by detailed elaboration of solutions, which in turn should be automated as much as possible.

The iterative cycle of automatic design in the first approximation can be constructed in this way:

The initial data for the design are the requirements for the implementation of the target task. At the first step of the iteration, a combination or confirmation of a set of design parameters and their relationships takes place, and the conditions of residuals and the limits of the possibilities of varying each of the parameters (boundary conditions) are determined. The second step determines a number of geometries of possible constellations that will be able to fulfill their intended purpose in full.

Based on the geometry of each constellation, the requirements for the spacecraft are issued. After receiving the requirements, automatic preliminary design of the spacecraft's appearance is used under the specified boundary conditions. Next comes the analytical processing of the results of all relevant branches of design. If necessary, the cycle is repeated, starting with the selection of residuals and boundary conditions. At the end of the iteration cycle, an extremely optimized system is obtained at the output.

Исследование возможности применения КА ДЗЗ регионального наблюдения для обеспечения высокого разрешения с помощью оптико-электронной системы при использовании эллиптической солнечно-синхронной орбиты

Ли Б.Х., Фирсюк С.О., Юн С.У., Кульков В.М.
МАИ, г. Москва, Россия

Системам космических аппаратов (КА) с высоким разрешением на низких орбитах при непрерывном наблюдении широтного пояса Земли уделяется много внимания: так, например, в связи с возросшей важностью освоения Арктического региона возрастает потребность в КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), способном эффективно вести наблюдение на широтном поясе (63°, 67°).

В настоящее время спутники наблюдения Земли для Арктического региона обычно движутся по солнечно-синхронным орбитам (ССО). Причина использования ССО заключается в том, что КА будет всегда летать над одной и той же регионе на заданной широте в одно и то же местное время. Также, для изображений заданного местоположения, получено одинаковое солнечное освещение.

Среди спутников наблюдения спутники Канопус-В, SkySat-2 и Kompsat-3A с использованием оптического оборудования и спутники Касатка-Р, Strix и Gaofen с использованием радиолокационных систем с синтезированной апертурой антенны (РСА) в основном используется круговая ССО, разновидность полярной орбиты.

Однако в случае региональных систем ДЗЗ разрешение на этих участках наблюдения требуется выше, чем на круговой солнечно-синхронной орбите, а на других участках требуется орбита, позволяющая вести наблюдение за обширной территорией. Для этой цели рассматривается эллиптическая солнечно-синхронная орбита с малой высотой перигея и большой высотой апогея.

При проектировании эллиптической орбиты следует учитывать, что широта перигея орбиты изменяется под влиянием возмущения J2. Для компенсации этих возмущения J2 на широте перигея может быть использован электроракетный двигатель (ЭРД).

Актуальной является оценка возможности применения КА ДЗЗ для обеспечения высокого разрешения с помощью ОЭК в определенном регионе при использовании эллиптической ССО.

Требования к оптическому оборудованию выбраны с учетом характеристик существующих космических систем ДЗЗ на базе КА с ОЭК с учетом соответствующих требований для орбиты и времени наблюдения на участках апогея и перигея орбиты. Проведен сравнительный анализ результатов для КА ДЗЗ на эллиптической ССО и при использовании круговой ССО.

Литература:

1. Матвеев Ю. А., Ламзин В.А., В.В. Ламзин В.В. Основы проектирования модификаций космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. — М.: Изд-во МАИ, 2015. — 176 с.

2. Ламзин В.В., Макаров Ю.Н., Матвеев Ю.А. Вопросы поиска эффективных проектных решений при модернизации космической системы ДЗЗ // Полет. 2011. № 5.

3. Константинов М.С., Каменков Е.Ф. и др. Механика космического полета / Под ред. В.П. Мишина. — М.: Машиностроение. 1989. — 408 с.
4. Чернов А.А. Орбиты спутников дистанционного зондирования Земли: лекции и упражнения / А. А. Чернов, Г. М. Чернявский. – М.: Радио и связь, 2004. – 200 с.: ил.
5. Шишковский И.В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения. – СПб.: Питер, 2016. 400 с.
6. https://space.skyrocket.de/doc_sdat/servis-1.htm (дата обращения 20.12.2018)
7. Савицкий А. М., Сокольский М. Н. Оптические системы объективов для малых космических аппаратов // Оптический журнал. 2009. Т. 76. №10. С. 83–88.
8. Лысенко А.И., Маламед Е.Р., Сокольский М.Н., Пименов Ю.Д., Путилов И.Е. Оптические схемы объективов космических телескопов // Оптический журнал. 2002. Т. 69. № 9. С. 21–25.

Assessment of possibility of using remote sensing satellite for regional observation to provide high resolution using an optical camera system in elliptical sun-synchronous orbit

Lee B.H., Firsyuk S.O., Yoon S.W., Kulkov V.M.
[1]MAI, Moscow, Russia

The systems of spacecraft with high resolution in low Earth orbits (LEO) with continuous observation of certain latitudinal belt of the Earth has attracted attention.

For example, as the importance of finding the Northern Sea Route has increased, the necessity of using the LEO observation satellite, which allows us to monitor the Arctic Sea Route is increasing.

Recently, Earth observation satellites usually move in sun-synchronous orbits (SSO). When a satellite has a sun-synchronous orbit, it means that the satellite always visits the same spot at the same local time. Also, for images of a given location, the same solar illumination is obtained. it means that scientists and those who use the satellite images can compare how somewhere changes over time.

The remote sensing satellites of the Earth that placed on SSO, such as Canopus-B, SkySat-2 and Komsat-3A satellites using optical equipment and the Kasatka-R, Strix and Gaofen satellites using synthesized antenna aperture radar systems (SAR).

However, in the case of regional remote sensing systems, the resolution in the certain observation area is required higher than in a circular sun-synchronous orbit, and in other areas an orbit is required that allows to monitor on the vast territory. For this purpose, an elliptical sun-synchronous orbit with a low perigee and a large apogee is considered.

Also, when design elliptical orbits, a point to consider is that the latitude of the perigee of the orbit changes under the influence of the perturbation J2. To compensate for the change of the latitude of the perigee, an electric rocket engine can be used.

This study aims to assess the possibility of using remote sensing satellites in SSO to provide high resolution in a certain region.

The requirements for optical camera system are selected by considering the characteristics of existing remote sensing systems. These requirements are determined, considering the orbital elements and observation time in the apogee and perigee sections of the orbit.

By using this the comparative analysis of the results for remote sensing satellite with elliptical SSO and with circular SSO was carried out.

Регенерация воды из конденсата атмосферной влаги на МКС: статус и перспективы

[1]Павлов А.В., [1]Бобе Л.С., [1]Рукавицин С.Н., [2]Андрейчук П.О., [2]Железняков А.Г.
[1]АО «НИИХиммаш», г. Москва, Россия
[2]РКК Энергия, г. Королев, Россия

Регенерация воды из конденсата атмосферной влаги на МКС осуществляется в системе СРВ-К2М методом сорбционно-каталитической очистки с последующей минерализацией, консервацией серебром и пастеризацией очищенной воды. В период с 02.11.00 г. по 01.08.22 г. система обеспечила прием, сепарацию из газожидкостного потока и регенерацию 24800 л конденсата атмосферной влаги и переработку 14600 л воды из запасов. Качество регенерированной воды по физико-химическим и микробиологическим показателям полностью соответствует совместным российско-американским нормативам и ГОСТ Р 50804-

95 на регенерированную питьевую воду. Система производит более 50% потребляемой космонавтами воды и обеспечивает экономию доставляемых грузов более 1200 кг в год.

Конденсат атмосферной влаги поступает в СРВ-К2М из системы кондиционирования воздуха станции в виде газожидкостного потока. Для регенерации воды используются процессы гетерогенного катализа и ионного обмена в газожидкостной и жидкой средах. Процессы осуществляются при температуре и давлении атмосферы станции и не требуют затрат электроэнергии. Принятый в системе сорбционно-каталитический процесс очистки и способ статической сепарации обеспечивают 100% извлечение воды и уникально малые удельные затраты электроэнергии на регенерацию – не более 2 Втч на 1 литр получаемой воды. С учётом нагрева для получения горячей воды среднесуточная мощность составляет 10 Вт на одного космонавта в сутки. Удельные затраты массы составляют 0,08 кг на 1 литр регенерированной воды. Анализ замен выработавшего ресурс оборудования показывает, что наибольшие затраты приходятся на разделители (забивка пор капиллярно-пористых элементов) и блок колонок очистки (выработка ресурса шихты). При модернизации системы во время полёта МКС введена двухступенчатая схема сепарации с дополнительным мембранным фильтром-сепаратором МФР, увеличившая ресурс узла сепарации более, чем в 10 раз. В настоящее время проводятся работы по увеличению в 2 – 3 раза ресурса узла очистки.

В докладе рассмотрены особенности построения системы и способов организации используемых процессов химической технологии в условиях микрогравитации. Обсуждена структура затрат массы на регенерацию воды и направления их снижения. Показаны возможности дальнейшего совершенствования системы.

Regeneration of water from atmospheric humidity condensate on ISS: status and perspectives

[1]Pavlov A.V., [1]Bobe L.S., [1]Rukavitsin S.N., [2]Andreychuk P.O., [2]Jeleznyakov A.G.
[1]JSC NIIChimmash, Moscow, Russia
[2]RSC Energia, Korolev, Russia

Regeneration of water from atmospheric humiditycondensate on the ISS is carried out in the SRV-K2M system by sorption-catalytic purification, followed by mineralization, conservation with silver and pasteurization of purified water. In the period from 11/02/00 to 08/02/22 the system ensured the reception, separation from the gas-liquid flow and regeneration of 24,800 liters of atmospheric humidity condensate and the purification of 14,600 liters of water from reserves. The quality of regenerated water in terms of physical, chemical and microbiological parameters fully complies with Russian-American standards and GOST R 50804-95 for reclaimed drinking water. The system produces more than 50% of the water consumed by astronauts and saves more than 1200 kg of delivered cargo per year.

Atmospheric humidity condensate enters SRV-K2M from the air conditioning system of the station in the form of a gas-liquid flow. The processes of heterogeneous catalysis and ion exchange in gas-liquid and liquid media are used for water regeneration. The processes are carried out at the temperature and pressure of the station atmosphere and do not require electricity. The sorption-catalytic purification process and the method of static separation provide 100% water extraction and uniquely low specific energy consumption for regeneration - no more than 2 W•h per 1 liter of water received. Taking into account heating of water, the average daily power is 10 W per cosmonaut per day. The specific mass consumption is 0.08 kg per 1 liter of regenerated water.

An analysis of the replacement of equipment that has reached the end of its resource shows that the greatest costs belong to separators (plugging the pores of capillary-porous elements) and to purification columns (exhaustion of thecharge resource). During the ISS flight a two-stage separation scheme was introduced with an additional membrane filter-separator, which increased the service life of the separation unit by more than 10 times.

At present time workto increase the resource of the purification unit by 2-3 times is carried out.

The report discusses the features of schemeof system and ways of organizing the processes used in chemical technology in microgravity. The structure of mass costs for water regeneration and ways of their reduction are discussed. The possibilities of further improvement of the system are shown.

Опыт пожароопасных нештатных ситуаций с системой электролизного получения кислорода «Электрон-ВМ» Международной космической станции

Прошкин В.Ю.
АО «НИИхиммаш», г. Москва, Россия

На Международной космической станции (МКС) с 2000 г. работает система генерации кислорода (СГК) «Электрон-ВМ». Все технологические процессы СГК реализованы в технологическом блоке (ТБ): подпитка водой, электролиз воды на O2 и H2, циркуляция электролита (раствор КОН) через O2 и H2 камеры электролизера, разделение газожидкостной смеси в статических разделителях на пористых диафрагмах, очистка O2 и H2 в аэрозольных фильтрах, дальнейшая очистка O2 в блоке дожигания (БД).

При эксплуатации СГК был ряд пожароопасных нештатных ситуаций (НШС) с ТБ.

В ТБ 05 (после наработки 456 суток) сгорел электрический жгут «минус» силового питания электролизера и отделился от своей клеммы, привернутой к шпильке со стороны негерметичной части капсулы ТБ. Шпилька обеспечивает проход жгута в герметичную часть капсулы. НШС предшествовали несколько периодов (33, 59 и 60 час) непрерывной работы ТБ на максимальном токе питания электролизера 64 А. В последние 5-6 час напряжение на электролизере (включая жгут) выросло со стабильных 21,9 В до 22,4 В, а после штатного отключения было падение давления в герметичной части капсулы (термическое воздействие на герметизирующее уплотнение в месте установки шпильки). При следующем включении ТБ проработал 4 час на 50 А и отключился из-за падения давления в капсуле. Далее включить ТБ не удалось из-за выдачи аварийного сигнала об отсутствии тока на электролизере.

Спуск ТБ 05 на Землю и дефектация показали: сгорание жгута вызвано плохим контактом в месте крепления клеммы к шпильке и, возможно, нарушением целостности жгута при монтаже. Т.е. была ошибка изготовления. Это подтверждается тем, что место крепления жгута «минус» к шпильке со стороны герметичной части капсулы и шпилька, к которой крепится жгут «плюс», дефектов не имели.

В ТБ 06 и 08 (после наработки 35 и 198 суток) был сильный нагрев БД, сопровождающийся запахом O2. В БД O2 последовательно проходит: маты из стекловолокна (МС) на входе, слой химического поглотителя (ХП) азотосодержащих примесей (на основе катионита КУ-23) между двух МС, слой катализатора (КТ) для окисления следов H2 и других примесей (Pd, нанесенный на Al2O3), МС на выходе. Указанные части разделены стальными сетками.

НШС предшествовало много кратких (5-10 минут) включений-отключений ТБ, связанных с отказом циркуляционного насоса (из-за отсутствия подпитки водой по причине ложного сигнала системы управления). Т.е. не было подачи электролита в электролизер. Это привело к пересыханию межполостной диафрагмы и взаимному проникновению электролизных газов. При этом внешние газоанализаторы для СГК были отключены от управления. Окисление большого объема H2 в БД вызвало сильный нагрев.

Спуск ТБ 06 и 08 на Землю и дефектация БД показали:

• МС на входе имеют параллельные оплавленные отверстия (температура >450°С). Число и диаметр отверстий увеличиваются по ходу потока. Причина их образования: тление в O2 зерен ХП, попавших в МС.

• Перемещение зерен ХП внутри БД вызвано уменьшением объема ХП (усадка + из-за ошибки изготовления не поставлен один из МС, ограничивающих слой). Трение зерен в потоке могло создать заряд статического электричества (разряд мог инициировать термические процессы и повлиять на образование отверстий).

• В слое ХП часть зерен обуглилась, их тление вызвало запах O2.

• Температура в БД была 600-650°С.

Результаты анализа НШС и дефектации:

• Доработка БД, включая введение датчика температуры.

• ТБ системы «Электрон-ВМ» показал высокую устойчивость в пожароопасных НШС.

Experience of the fire hazardous off-normal situations with the "Electron-VM" electrolysis oxygen generation system of the International space station

Proshkin V.Y.
JSC “NIIchimmash”, Moscow, Russia

The oxygen generation system (OGS) "Electron-VM" operates at the International Space Station since 2000. All OGS technological processes are performed out in the processing unit (PU): water supply, water electrolysis on O2/H2, electrolyte circulation (KOH solution) through O2/H2 chambers of electrolyzer, the gas-liquid mixture separation in static separators by porous diaphragms, O2/H2 purification in aerosol filters, O2 further purification in the afterburning unit (AU).

On board, several fire hazardous off-normal situations (ONS) were with the PU.

In PU 05 (after 456 operation days), the electrical cable “minus” of the electrolyzer power supply burned out and separated from its terminal attached to the connector in the non-hermetic part of the PU capsule. Connector ensures the cable transit into the capsule hermetic part. The ONS was preceded by several periods (33, 59, 60 h) of PU continuous operation at the electrolyzer current of 64 A. In the last 5 h, the electrolyzer voltage (with cable) increased from a stable 21.9 to 22.4 V. After a normal shutdown, there was a pressure decrease in the hermetic part of capsule (thermal effect on the seal at the connector location). At the next turn on, the PU operated for 4 h at 50 A, and turned off due to a capsule pressure decrease. Further, it was not possible to turn on the PU due to the alarm issuing "no current on the electrolyzer".

Return to the ground and PU 05 disassembly determined, that the cable burned out was caused by high electrical resistance at the terminal attachment place and, possibly, the cable integrity destruction during assembly. It’s a production defect. This is confirmed by the fact that all other connectors of cables “minus” and “plus” had no defects.

In PU 06 and 08 (after 35 and 198 operation days) there was an AU strong heating, accompanied by the O2 odor. In the AU the O2 sequentially passes: inlet fiberglass mats (FM), chemical absorber (CA) of nitrogen-containing contaminations between two FM, catalyst for the oxidation of H2 traces and other contaminations (Pd on Al2O3), outlet FM. Steel meshes separate this parts.

The ONS was preceded by many short (5-10 minutes) switching on/off of the PU associated with the circulation pump failure (due to the water supply lack due to a control system false signal). That is, there was no electrolyte supply to the electrolyzer. This caused drying of interchamber diaphragms and mutual penetration of electrolysis gases. At the same time, external gas analyzers for the OGS were disconnected from control. Oxidation of a H2 large volume in the AU caused strong heating

Return to the ground of PU 06/08 and AU disassembly determined:

• Inlet FM have parallel melted holes (temperature >450°C). The holes number and diameter increase along the flow. The reason of their formation: smoldering in O2 of CA grains that penetrated into FM.

• The CA grains move inside the AU is caused by a decrease in the CA volume (shrinkage + due to a production defect one of the limiting FM was not installed).

• The grains friction in the flow could create a static electricity charge (the discharge could initiate thermal processes and affect the formation of holes).

• In the CA layer some of the grains charred, their smoldering caused the O2 odor.

• The AU temperature was 600-650°C.

Results:

• AU upgrades, including the temperature sensor installation.

• OGS Electron-VM has a high stability in fire hazardous ONS.

Оценка влияния параметров системы технического обслуживания на надёжность многоразовой ракетно-космической системы

Родченко В.В., Ткачук М.О., Литвинович Н.В.
МАИ, г. Москва, Россия

В работе изложены актуальные вопросы, связанные с особенностями технического обслуживания и проведения ремонтно-восстановительных работ возвращаемых ступеней

многоразовых транспортных ракетно-космических систем и влиянием основных параметров системы технического обслуживания на показатели готовности летательного аппарата.

Применение современных способов диагностирования, поиска неисправностей и прогнозирования параметров технического обслуживания особенно актуально для многоразовых транспортных ракетно-космических систем.

Был проведен анализ расчетных и статистических данных и сделан вывод о том, что использование многоразовой транспортной ракетно-космической системы с ракетным блоком первой ступени многоразового использования позволяет, по сравнению, с одноразовой транспортной ракетно-космической системой снизить в зависимости от рассматриваемого объема транспортной программы и кратности повторного использования ракетного блока первой ступени затраты на запуск в среднем – в 1,6…3,0 раза (в эти затраты включены расходы на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт). Что примерно сопоставимо по уровню с затратами на РН Falcon Heavy при запуске с потерей центрального и боковых ускорителей – цена пуска примерно 150 млн. $, а с стоимость запуска с сохранением всех ускорителей – примерно 90 млн. $ (в 1,66 раза меньше, чем в первом варианте).

Assessment of the impact of maintenance system parameters on the reliability of a reusable rocket and space system

Rodchenko V.V., Tkachuk M.O., Litvinovich N.V.
MAI, Moscow, Russia

The paper deals with topical issues related to the features of maintenance and repair and restoration work of the return stages of reusable transport rocket and space systems and the influence of the main parameters of the maintenance system on the readiness of the aircraft.

The use of modern methods of diagnosing, troubleshooting and predicting maintenance parameters is especially important for reusable transport rocket and space systems.

An analysis of the calculated and statistical data was carried out and it was concluded that the use of a reusable transport rocket and space system with a reusable first stage rocket block allows, in comparison with a disposable transport rocket and space system, to reduce, depending on the considered volume of the transport program and the multiplicity reuse of the rocket block of the first stage, the launch costs are on average 1.6 ... 3 times (these costs include the costs of operation, maintenance and repair). Which is approximately comparable in terms of the cost of the Falcon Heavy launch vehicle during launch with the loss of the central and side boosters – the launch price is about $ 150 million, and with the launch cost with the preservation of all boosters – about $ 90 million (1.66 times less than than in the first version).

Оценка точности нелинейных математических моделей динамики движения космического манипулятора типа руки с гибкими звеньями

Русских С.В., Шклярчук Ф.Н.
МАИ, г. Москва, Россия

Рассматриваются две нелинейные математические модели динамики плоского движения космического крана-манипулятора типа руки, состоящего из трех шарнирно соединенных между собой звеньев, первые два из которых считаются упругими на изгиб стержнями, а третье звено является недеформируемым телом. На концах стержней присоединены твердые тела (электромоторы, приводы), моделируемые сосредоточенными массами, для кинематического управления изменениями углов между соединяемыми звеньями с целью заданного передвижения и позиционирования груза, присоединенного к третьему недеформируемому звену. Углы поворота звеньев как недеформируемых тел произвольные (большие), изгибные деформации стержней упругие и малые (линейные). Уравнения колебаний трансформируемой составной системы в обобщенных координатах получаются на основании принципа возможных перемещений.

В первой модели аппроксимация изгиба каждого стержня описывается по методу Ритца двумя заданными функциями формы с неизвестными коэффициентами, которые рассматриваются как обобщенные координаты. Этими координатами являются прогиб и угол

поворота конца стержня за счет его изгиба. Система имеет 7 степеней свободы, 3 из которых представляют задаваемые (управляемые) углы поворота стержней, а другие 4 степени свободы описывают в обобщенных координатах сопровождающие упругие колебания.

Во второй модели аппроксимации изгиб каждого упругого звена описывается одной функцией формы с неизвестным коэффициентом, представляющим собой прогиб конца стержня. Система имеет 5 степеней свободы – 3 задаваемых угла поворота стержней; 2 обобщенных координаты, описывающих их линейные упругие колебания.

В качестве примеров рассмотрено поведение системы с анализом точности и сходимости при нескольких различных комбинациях, задаваемых в виде функции по времени относительных углов поворота в шарнирах и при различных параметрах, характеризующих изгибную жесткость упругих звеньев космического крана-манипулятора. Показано, что при увеличении жесткости стержней результаты расчета по двум предложенным математическим моделям практически совпадают.

Численные решения начальной задачи для системы 4-х дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами получены с использованием стандартных программ, реализующих методы Адамса, Рунге-Кутта, Булирша-Штера.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 22-29-01206 «Динамика трансформируемых и управляемых упругих космических систем»).

Литература:

1. Кондратенко, М.В. Космические робототехнические комплексы на международной космической станции / М.В. Кондратенко, К.А. Титов, А.М. Салаев // Пилотируемые полеты в космос. – 2014. – № 3(12). – С. 80-91.

2. Яскевич, А.В. Моделирование в реальном времени сборочных операций, выполняемых на МКС манипулятором era / А.В. Яскевич, В.М. Мирхайдаров, О.С. Андреев // Экстремальная робототехника. – 2021. – Т. 1. – № 1. – С. 19-29.

3. Методика определения взаимоположения суставов руки оператора для управления антропоморфным космическим манипулятором / Ф.Б. Тебуева, В.И. Петренко, В.О. Антонов [и др.] // Экстремальная робототехника. – 2018. – Т. 1. – № 1. – С. 69-81.

Evaluation of the accuracy of nonlinear mathematical models of the dynamics of motion of a space manipulator of the arm type with flexible links

Russkikh S.V., Shklyarchuk F.N.

MAI, Moscow, Russia

Two nonlinear mathematical models of the dynamics of the plane motion of a space crane-manipulator of the arm type, consisting of three articulated links, the first two of which are considered elastic bending rods, and the third link is a non-deformable body, are considered. At the ends of the rods, solid bodies (electric motors, drives) are attached, modeled by concentrated masses, for kinematic control of changes in angles between the connected links for the purpose of a given movement and positioning of the load attached to the third non-deformable link. The rotation angles of the links as non-deformable bodies are arbitrary (large), bending deformations of the rods are elastic and small (linear). The oscillation equations of the transformed composite system in generalized coordinates are obtained on the basis of the principle of possible displacements.

In the first model, the approximation of the bending of each rod is described by the Ritz method by two given shape functions with unknown coefficients, which are considered as generalized coordinates. These coordinates are the deflection and angle of rotation of the end of the rod due to its bending. The system has 7 degrees of freedom, 3 of which represent the specified (controlled) angles of rotation of the rods, and the other 4 degrees of freedom describe the accompanying elastic vibrations in generalized coordinates.

In the second approximation model, the bending of each elastic link is described by a single shape function with an unknown coefficient representing the deflection of the end of the rod. The system has 5 degrees of freedom – 3 preset rotation angles of the rods; 2 generalized coordinates describing their linear elastic vibrations.

As examples, the behavior of the system with an analysis of accuracy and convergence is considered for several different combinations of relative angles of rotation in the hinges set as a function of time and for various parameters characterizing the bending stiffness of the elastic links of the space crane manipulator. It is shown that with an increase in the stiffness of the rods, the calculation results for the two proposed mathematical models practically coincide.

Numerical solutions of the initial problem for a system of 4 differential equations with variable coefficients are obtained using standard programs implementing the Adams, Runge-Kutta, and Bulirsch-Shter methods.

The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (project № 22-29-01206 "Dynamics of transformable and controlled elastic space systems").

References:

1. Kondratenko, M.V. Space robotic complexes on the international space station / M.V. Kondratenko, K.A. Titov, A.M. Salaev // Manned flights into space. – 2014. – № 3(12). – Pp. 80-91.

2. Yaskevich, A.V. Real-time modeling of assembly operations performed by on the ISS with the era manipulator / A.V. Yaskevich, V.M. Mirkhaydarov, O.S. Andreev // Extreme robotics. – 2021. – Vol. 1. – No. 1. – pp. 19-29.

3. Methodology for determining the mutual position of the joints of the operator's hand for controlling an anthropomorphic space manipulator / F.B. Tebueva, V.I. Petrenko, V.O. Antonov [et al.] // Extreme robotics. - 2018. – Vol. 1. – No. 1. – pp. 69-81.

Прием и консервация урины на МКС: статус и перспективы

[1]Сальников Н.А., [2]Бобе Л.С., [1]Рыхлов Н.В., [1]Рукавицин С.Н., [3]Андрейчук П.О.

[1]АО «НИИхиммаш», [2]МАИ, г. Москва, Россия

[3]ПАО «РКК «Энергия», г. Королев, Россия

Прием и консервация урины (мочи) от космонавтов на МКС осуществляется в системе СПК-УМ методом центробежной сепарации жидкости из потока транспортного воздуха с дозированным введением в газожидкостной поток жидкого сернокислотного консерванта и смывной воды. В период с 02.11.2000 г. по 01.08.2022 г. система обеспечила прием, сепарацию из газожидкостного потока и консервацию 27730 л урины. Система СПК-УМ характеризуется малыми затратами массы и энергии. Удельный расход массы системы СПК-УМ составляет 0,065 кг на 1 литр урины с консервантом и смывной водой, удельное энергопотребление при экипаже 3 человека – 35 Втч на 1 литр принимаемой урины, среднесуточная потребляемая мощность при экипаже из 3-х человек – 5 Вт. В настоящий момент на российском сегменте МКС работает второй туалет с системой СПК-УМ, установленный в модуле МЛМ, в котором уже принято 460 литров урины. Консервант, содержащий серную кислоту и окись хрома, обеспечивает химическую и микробиологическую стабильность урины при дальнейшей переработке (регенерации воды) и хранении в течение более 1,5 лет.

В американском сегменте МКС работает аналогичная российская система СПК-УМ-ИБ с дополнительными интерфейсными блоками. В период с 09.12.2008 г. по 19.09.2022 г. система обеспечила прием, сепарацию из газожидкостного потока и консервацию 31470 л урины. Энерго- и массозатраты такие же, как у систем российского сегмента. Принятая урина передаётся в систему регенерации воды методом вакуумной дистилляции. Замечаний по качеству консервации нет.

Анализ эксплуатации системы и замен выработавшего ресурс оборудования показывает, что наибольшие затраты массы приходятся на центробежный сепаратор и дозатор консерванта и смывной воды. В настоящее время проводятся работы по увеличению в 1,5 – 2 раза ресурса аппаратов системы. Проводятся испытания по работе на консерванте без смывной воды, что существенно снизит расход массы в системе СПК-УМ.

В докладе рассмотрены особенности построения системы и способы организации используемых процессов химической технологии в условиях микрогравитации. Обсуждена структура затрат массы на приём, сепарацию и консервацию, направления их снижения. Показаны возможности дальнейшего совершенствования системы.

Intake and pretreatment of urine aboard the ISS: status and outlook

[1]Salnikov N.A., [2]Bobe L.S., [1]Rykhlov N.V., [1]Rukavitsin S.N., [3]Andreychuk P.O.
[1]NIICHIMMASH, [2]MAI, Moscow, Russia
[3]RSC Energia, Korolev, Russia

Intake and pretreatment of urine from cosmonauts and astronauts aboard the ISS is carried out by SPK-UM system by means of centrifugal separation of liquid from the transport air flow with dosed injection of liquid sulfuric acid pretreat and flush water into the gas-liquid flow. From November 2, 2000 to August 1, 2022 the system ensured the intake, separation from the gas-liquid flow and preservation of 27730 liters of urine. The SPK-UM system can be characterized by low mass and energy costs. The normalized mass spendings of the SPK-UM system is 0.065 kg per 1 liter of the mixture of urine, pretreat and flush water. The normalized energy consumption for a 3 people crew is 35 Wh per 1 liter of urine. The average daily power consumption for a 3 people crew is 5 W. At the moment, the second SPK-UM system is operating at the Russian segment of the ISS. This system is installed in the MLM module and has already taken 460 liters of urine. A pretreat containing sulfuric acid and chromium oxide ensures the chemical and microbiological stability of urine during further processing (water regeneration) and storage for more than 1.5 years.

A similar Russian system SPK-UM-IB with additional interface units operates at the US segment of the ISS. From December 9, 2008 to September 19, 2022 the system ensured the intake, separation from the gas-liquid flow and pretreatment of 31470 liters of urine. Energy and mass costs are the same as for the systems of the Russian segment. Pretreated urine is transported to the water regeneration system that works by vacuum distillation method. The quality of urine pretreatment is sufficient.

The analysis of the SPK-UM system operation and the end-of-life equipment replacements shows that the largest mass spendings fall on the centrifugal separator and the pretreat and flush water dose pump. Currently, there are works are underway to increase the service life of the system hardware by 1.5 - 2 times. Tests are being carried out to provide the system operation without flush water. This will significantly reduce the mass spendings in the SPK-UM system.

The paper considers the features of the SPK-UM system structure and ways of chemical technology processes application in microgravity. The structure and ways to reduce mass spendings for intake, separation and pretreatment of urine are discussed. The possibilities of further improvement of the SPK-UM system are shown.

К вопросу оценки дальности полета и предельных габаритных размеров беспилотного летательного аппарата с учетом функционирования в составе группы аппаратов

Селин А.И., Туркин И.К.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время наиболее перспективными считаются тактические объединения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в группы или рой.

Ранее был произведен анализ существующих аппаратов работающих в составе групп.

Был выявлен ряд особенностей, а именно:

- Относительно малая масса и габариты;
- Низкая потребная стоимость ЛА;
- Манёвренность;
- Высокая степень автоматизации;
- Потребная дальность полета исключающая вход носителя в эффективную зону противодействия противника при запуске аппаратов.

Основываясь на алгоритме формирования облика ударных БЛА, прорабатывается алгоритм формирования облика аппаратов, работающих в составе группы. На облик аппарата оказывает заметное влияние тип и параметры носителя.

Количество БЛА в группе (n) определяется при формировании технического задания с учетом возможной полезной нагрузки, вероятности противодействия и возможностей носителя. Оценивается теоретическая вероятность выполнения задачи единичным аппаратом.

Известна формула определения максимальной дальности, представленная в работе [1].

Для определения дальности полета аппаратов в группе рассматривается задача поражения площадной цели типа аэродром. Для определения длинны обхода применяется методика наведения на наземные цели описанная в Теории и методике управления авиацией [2].

Основными способами поражения целей группой БПЛА является последовательный и одновременный удар звеньями или парами. Основные силы группы наносят удары по заранее разведанным целям. В заданное время группа наносит последовательные удары по одному или нескольким объектам.

Таким образом в результате получаем потребные дальности полета, скорости полета, и внешний вид траектории. При прохождении зон противовоздушной обороны и радиоэлектронной борьбы учитываем теоретические решения, предложенные в работе [3], которые направленны на формирование маршрутов полета аппаратов с учетом зон средств поражения и борьбы.

В качестве средств транспортирования рассмотрим сухопутные и водные носители. Предельные габаритные размеры определяем исходя из количества аппаратов и габаритов средств транспортирования.

Рассмотрев таким образом носитель для заданного количества БПЛА, средней плотности транспортно-пускового контейнера (ТПК) определенной из статистических данных и заданного состава дополнительного оборудования, получим зависимость массы БПЛА от грузоподъемности шасси.

Проведена оценка потребной дальности развертывания группы БПЛА, для чего рассмотрено типовое построение маршрута для группы БПЛА при поражении наземной неподвижной цели. Построен профиль высот траектории. Определена траектория движения группы на различных участках. Рассмотрены возможные носители группы БПЛА и оценены потребные размеры аппаратов исходя из требований к их количеству и месту размещения в носители.

Литература:

1. Проектирование зенитных управляемых ракет: Изд. второе, перераб. и доп. / И.И. Архангельский, П.П. Афанасьев, И.С. Голубев/ Под ред. И.С. Голубева и В.Г. Светлова. – М.: МАИ, 2001.

2. Паньков С.Я. Теория и методика управления авиацией: учеб. пособие. В 2 ч., Ч.1/ С.Я. Паньков, Ю.Е. Зубарев, А.М. Матвеев; под общ. Ред. В.А. Мещерякова. – Ульяновск: УВАУ ГА, 2006. – 190 с.

3. Васильченко А. С., Иванов М. С., Колмыков Г. Н. Формирование маршрутов полета беспилотных летательных аппаратов с учетом местоположения средств противовоздушной обороны и радиоэлектронного подавления // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 4. С. 403-420.

On the issue of assessing the flight range and overall dimensions of an unmanned aerial vehicle, taking into account the functioning as part of a group of vehicles

Selin A.I., Turkin I.K.

MAI, Moscow, Russia

At present, tactical associations of unmanned aerial vehicles (UAVs) in groups or swarms are considered the most promising.

Previously, an analysis was made of existing devices working in groups.

A number of features have been identified, namely:

- Relatively small weight and dimensions;
- Low required cost of aircraft;
- Maneuverability;
- High degree of automation;
- The required flight range excluding the entry of the carrier into the effective enemy counteraction zone when launching vehicles.

Based on the algorithm for forming the appearance of impact UAVs, an algorithm for forming the appearance of devices operating as part of a group is being worked out. The appearance of the device is significantly influenced by the type and parameters of the carrier.

The number of UAVs in the group (n) is determined during the formation of the terms of reference, taking into account the possible payload, the probability of counteraction and the capabilities of the carrier. The theoretical probability of performing the task by a single device is estimated.

Known formula for determining the maximum range, presented in [1].

To determine the flight range of vehicles in a group, the problem of hitting an areal target such as an airfield is considered. To determine the length of the detour, the method of targeting ground targets is used, which is described in Theory and Methods of Aviation Control [2].

The main methods of hitting targets by a group of UAVs are sequential and simultaneous strikes by links or pairs. The main forces of the group strike at previously reconnoitered targets. At a given time, the group delivers successive strikes on one or more objects.

Thus, as a result, we obtain the required flight ranges, flight speeds, and the appearance of the trajectory. When passing through the air defense and electronic warfare zones, we take into account the theoretical solutions proposed in [3], which are aimed at forming the flight routes of vehicles, taking into account the zones of weapons and combat.

As means of transportation, consider land and water carriers. The maximum overall dimensions are determined based on the number of devices and the dimensions of the means of transportation.

Considering in this way the carrier for a given number of UAVs, the average density of the transport and launch container (TLC) determined from the statistical data ρav TLK and the given composition of additional equipment, we obtain the dependence of the UAV mass on the carrying capacity of the chassis.

The assessment of the required deployment range of the UAV group was carried out, for which a typical route construction for the UAV group was considered when hitting a ground fixed target. The height profile of the trajectory has been constructed. The trajectory of the group's movement in various sections was determined. Possible carriers of the UAV group are considered and the required dimensions of the devices are estimated based on the requirements for their number and location in carriers.

Выбор проектных параметров разгонного блока с уточненной моделью ракетного двигателя твердого топлива

Соцков И.А., Балык В.М., Гайдаров Д.Д.
МКБ «Искра», г. Москва, Россия

Рассматривается задача совместной оптимизации проектных параметров разгонного блока и установленного на нем ракетного двигателя твердого топлива, обеспечивающего орбитальный маневр, связанный с переводом космического аппарата с переходной эллиптической орбиты на заданную круговую. Проектирование разгонного блока с установленным двигателем связано с определение рациональных значений основных проектных параметров, которые обеспечивают выполнение требуемых орбитальных маневров для решения поставленных аппарату целевых задач. Одним из типовых орбитальных маневров является довыведением ракетного блока с переходной эллиптической орбиты на конечную круговую орбиту. Для довыведения космического аппарата с переходных орбиты на конечную круговую орбиту может быть использован ракетный двигатель твердого топлива. С помощью которого осуществляется разгон ракетного блока до скорости соответствующий скорости движения на конечной круговой орбите. Следует отметить что использование такой схемы выведения космического аппарата позволяет, по сравнению с непосредственным выведением космического аппарата на круговую орбиту, повысить выводимую массу космического аппарата при использовании одной и той же ракеты космического назначения. Этим определяется актуальность работы поскольку полученная информация позволяет улучшить качество проектируемого аппарата в целом и расширить спектр решаемых им целевых задач. Задача, решаемая работе, является разработка методики трехмерного течения продуктов сгорания в ракетных двигателях твердого топлива позволяющая проводить

высокоточное моделирование системы разгонного блока-ракетного двигателя, что в итоге позволяет сократить число летно-конструкторских испытаний.

Литература:

1. В.С. Сенькин «К выбору параметров космического аппарата и апогейного ракетного двигателя на твердом топливе»
2. В.С. Сенькин, А.П. Сарычев «Выбор проектных параметров управления на начальном этапе проектирования ракет-носителей»
3. В.С. Сенькин «к вопросу о постановке задач оптимизации проектных параметров ракетного двигателя на твердом топливе»

Choice of design parameters of an upper stage with a refined model of a solid propellant rocket engine

Sotskov I.A., Balyk V.M., Gaydarov D.D.
MDB "Iskra", Moscow, Russia

The problem of joint optimization of the design parameters of the upper stage and the solid propellant rocket engine installed on it, which provides an orbital maneuver associated with the transfer of a spacecraft from an elliptical transfer orbit to a given circular one, is considered. The design of an upper stage with an installed engine is associated with the determination of rational values of the main design parameters that ensure the performance of the required orbital maneuvers to solve the target tasks set for the vehicle. One of the typical orbital maneuvers is the final ascent of the rocket unit from the transfer elliptical orbit to the final circular orbit. A solid propellant rocket engine can be used to lift a spacecraft from transfer orbits to a final circular orbit. With the help of which the rocket block is accelerated to a speed corresponding to the speed of movement in the final circular orbit. It should be noted that the use of such a scheme for launching a spacecraft allows, in comparison with the direct launching of a spacecraft into a circular orbit, to increase the mass of the spacecraft to be launched when using the same space rocket. This determines the relevance of the work, since the information obtained makes it possible to improve the quality of the designed apparatus as a whole and expand the range of target tasks it solves. The problem solved by the work is the development of a methodology for the three-dimensional flow of combustion products in solid propellant rocket engines, which allows for high-precision modeling of the booster block-rocket engine system, which ultimately reduces the number of flight design tests.

Метод построения траектории беспилотных летательных аппаратов на основе нейронной сети

Третьяков Н.К., Гусейнов А.Б.
МАИ, г. Москва, Россия

Основным методом построения траектории сближения с движущимся объектом современных беспилотных летательных аппаратов (БЛА), является метод пропорционального сближения (ПС). При этом методе генерация команд управления происходит таким образом, чтобы вектор скорости БЛА вращался со скоростью, пропорциональной скорости поворота линии визирования и в том же направлении. В данной работе рассматривается возможность замены ПС на интеллектуальное построение траектории сближения с использованием нейронной сети (ИСНС).

В настоящее время инженеры ищут возможность применения технологий искусственного интеллекта в промышленности. Особенно в области систем автоматического управления. На данный момент основное направление развития нейронных сетей - это искусственное зрение, определение недетерминированных объектов в режиме реального времени. Это обусловлено многократно возросшим потоком информации, которую не успевают обрабатывать стандартные системы построения траектории. Цель данного доклада описать еще одно возможное применение нейронных сетей в системах автоматического управления. Возникновение концепции интеллектуального построения траектории обусловлено ошибками ПС при некоторых условиях взаимного положения БЛА и объекта. Применение ИСНС так же может избавить от ошибок антропогенного характера при задании параметров навигации.

Доказательство эффективности ИСНС откроет возможность к построению полностью автономных систем навигации, самостоятельно генерирующих команды управления на протяжении всего полета.

Разработка такого метода построения траектории стала возможной благодаря интенсивному развитию и применению технологии искусственного интеллекта. Нейронные сети действуют по принципу человеческого мозга: входные данные преобразуются в выходные, с каждой итерацией улучшая результат. В данном случае входные данные это информация о положении объекта в принятой системе координат, ее скоростные характеристики, а также положение и летные характеристики БЛА, а выходные данные это траектория сближения БЛА с объектом. Проведение большого количества итераций позволит в конечном итоге обучить нейронную сеть выстраивать наиболее оптимальную траекторию.

В докладе предложены варианты эксперимента контролируемого обучения и структура нейронной сети в соответствии современной концепции синтеза технологий, приведена оценка эффективности применения нейронной сети и рассмотрены другие возможности ее применения.

1. Rajagopalan, A.; Faruqi, F.A.; Nandagopal,D.N. Intelligent missile guidance using artificial neural networks. Artif. Intell. Res. 2015, 4

2. Minjeong Kim; Daseon Hong; Sungsu Park. Deep Neural Network-Based Guidance Law Using Supervised Learning. Appl. Sci. 2020, 10.

3. Вакуленко С.А., Жихарева А.А. Практический курс по нейронным сетям - СПб: Университет ИТМО, 2018. – 71 с.

4. Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С., Динамика полета – М.: Машиностроение 1973 г.

A method for design the trajectory of unmanned aerial vehicles based on a neural network

Tretyakov N.K., Guseynov A.B.

MAI, Moscow, Russia

The main method of trajectory design of approach to a moving object of modern unmanned aerial vehicles (UAV), is the proportional guidance method (PN). In this method, control commands are generated in such a way that the UAV velocity vector rotates at a speed proportional to the speed of rotation of the line of sight and in the same direction. In this paper, we consider the possibility of replacing the PN with intelligent guidance using a neural network (IGNC).

Currently, engineers are looking for the possibility of applying artificial intelligence technologies in industry. Especially in the field of automatic control systems. At the moment, the main direction of development of neural networks is artificial vision, the definition of non-deterministic objects in real time. This is due to a much-increased flow of information that standard guidance systems do not have time to process. The purpose of this paper is to describe another possible application of neural networks in automatic control systems. The emergence of the concept of intelligent guidance is due to PN errors under certain conditions of the mutual position of the UAV and the object. The use of IGNS can also eliminate anthropogenic errors when setting navigation parameters. Proving the effectiveness of INNS will open the possibility of building fully autonomous navigation systems that independently generate control commands throughout the entire flight.

The developmenta of this guidance method has become possible due to the intensive development and application of artificial intelligence technology. Neural networks operate on the principle of the human brain: input data converted into output, improving the result with each iteration. In this case, the input data is information about the position of the object in the accepted coordinate system, its speed characteristics, as well as the position and flight characteristics of the UAV, and the output data is the trajectory of the UAV's approach to the object. Large number of iterations will allow to train the neural network to build the most optimal trajectory.

The report offers variants of the controlled learning experiment and the structure of the neural network in accordance with the modern concept of technology synthesis, provides an assessment of the effectiveness of the neural network application and considers other possibilities for its application.

Разработка новой отечественной модели космического мусора

Усовик И.В., Степанов Д.В.
МАИ, г. Москва, Россия

В работе представлены основные положения новой отечественной модели космического мусора, реализованной в виде государственного стандарта Российской Федерации, а также программ для ЭВМ. Модель позволяет оценивать плотности потоков космического мусора размером от 10 мкм до более 20 см (каталогизированных объектов) относительно инерциальной системы координат или космического аппарата на заданной орбите в околоземном космическом пространстве для высот от 200 до 40 000 км. Представлено сравнении с предыдущей моделью, зарубежными аналогами и доступными экспериментальными данными, а также примеры решения прикладных задач.

1. Space Debris. Hazard Evaluation and Mitigation. / Edited by Nickolay N. Smirnov. – Taylor & Francis Inc., 2001. – P. 248.

2. Смирнов Н.Н. Эволюция «Космического мусора» в околоземном космическом пространстве // Успехи механики – 2002. –Т.1, №2. – С. 13-104.

3. Klinkrad H. Space Debris Models and Risk Analysis // – Chihester, UK: Praxis Publishing, 2006. – P.430.

4. А.И.Назаренко. Моделирование космического мусора. М:ИКИ РАН 2013.

5. Влияние запуска большого количества малых космических аппаратов и больших орбитальных группировок на техногенное засорение низких околоземных орбит. Усовик И.В., Степанов Д.В. Научное значение трудов К.Э. Циолковского: история и современность. Материалы 55-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. Калуга, 2020. С. 39-42.

6. Математическое моделирование космического мусора и метеороидов для решения прикладных задач космонавтики. Усовик И.В. 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». Тезисы 19-ой Международной конференции. Москва, 2020. С. 501.

7. Моделирование и ограничение образования космического мусора. Усовик Игорь Вячеславович - к.т.н, и.о. начальника отдела ЦНИИ машиностроения. Заседание Совета РАН по космосу 27 июня 2018 года.

8. Модель для прогнозирования и анализа космического мусора - Space debris prediction and analysis (SDPA). программа для расчета потока космического мусора относительно ка на заданной орбите Степанов Д.В., Усовик И.В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018665226, 03.12.2018. Заявка № 2018662306 от 06.11.2018.

9. Модель для прогнозирования и анализа космического мусора - Space debris prediction and analysis (SDPA) программа для расчета потока метеороидов относительно ка на заданной орбите Степанов Д.В., Усовик И.В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018664690, 20.11.2018. Заявка № 2018662322 от 06.11.2018.

10. ГОСТ Р 25645.167-2022 «Модель пространственно-временного распределения плотности потоков техногенного вещества в космическом пространстве». Степанов Д.В., Усовик И.В. и др.

Работа выполнена при поддержке гранта президента МК-5287.2022.4 (соглашение от 12.05.2022 № 075-15-2022-724).

Development of new domestic space debris model

Usovik I.V., Stepanov D.V.
MAI, Moscow, Russia

Presents main provisions of new domestic space debris model, implemented in form of computer programs, as well as the state standard of the Russian Federation. The model makes it possible to estimate densities of space debris fluxes ranging from 10 microns to more than 20 cm (cataloged objects) relative to an inertial Earth coordinate system or a spacecraft in a given orbit for altitudes from 200 to 40 000 km. The comparison with the previous model, foreign analogues and available experimental data, examples of practical tasks is presented.

1. Space Debris. Hazard Evaluation and Mitigation. / Edited by Nickolay N. Smirnov. – Taylor & Francis Inc., 2001. – P. 248.

2. Smirnov N.N. Evolution of "Space debris" in near–Earth space // Uspekhi mekhaniki – 2002. – Vol.1, No. 2. - pp. 13-104.
3. Klinkrad H. Space Debris Models and Risk Analysis // – Chihester, UK: Praxis Publishing, 2006. – P.430.
4. A.I.Nazarenko. Modeling of space debris. Moscow:IKI RAS 2013.
5. The impact of launching a large number of small spacecraft and large orbital groupings on the technogenic clogging of low Earth orbits. Usovik I.V., Stepanov D.V. Scientific significance of K.E. Tsiolkovsky's works: history and Modernity. Materials of 55 Scientific readings in memory of K.E. Tsiolkovsky. Kaluga, 2020. pp. 39-42.
6. Mathematical modeling of space debris and meteoroids for solving applied problems of cosmonautics. Usovik I.V. 19th International Conference "Aviation and Cosmonautics". Abstracts of the 19th International Conference. Moscow, 2020. p. 501.
7. Modeling and limiting the formation of space debris. Usovik Igor Vyacheslavovich - Candidate of Technical Sciences, Acting Head of the Department of the Central Research Institute of Mechanical Engineering. Meeting of the RAS Space Council on June 27, 2018.
8. A model for predicting and analyzing space debris - Space debris prediction and analysis (SDPA). A program for calculating the flow of space debris relative to a spacecraft in a given orbit Stepanov D.V., Usovik I.V. Certificate of registration of a computer program RU 2018665226, 03.12.2018. Application No. 2018662306 dated 06.11.2018.
9. Model for forecasting and analysis of space debris - Space debris prediction and analysis (SDPA) program for calculating the flow of meteoroids relative to the spacecraft in a given orbit Stepanov D.V., Usovik I.V. Certificate of registration of the computer program RU 2018664690, 11/20/2018. Application No. 2018662322 dated 06.11.2018.
10. GOST R 25645.167-2022 "Model of spatio-temporal distribution of the density of flows of technogenic matter in outer space". Stepanov D.V., Usovik I.V., etc.
The work was supported by the grant of the President MK-5287.2022.4 (agreement No. 075-15-2022-724 dated 12.05.2022).

Конструктивные решения для теплонагруженной бортовой аппаратуры, работающей в условиях космического вакуума

Шумских И.Ю.
АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара, Россия

Целью работы являлось создание новых типовых высокоэффективных теплоотводящих конструктивных решений бортовой аппаратуры космических аппаратов, а также создание рекомендаций и методик по их применению и возможному дальнейшему усовершенствованию.

Для достижения заданной цели были решены исследовательские задачи, включающие теоретические расчеты и моделирования в специализированном программном обеспечении (ANSYS Mechanical), а также изобретательские задачи по проектированию новых конструктивных решений.

По результатам решения исследовательских задач представлены:

• Анализ вариантов установки различных тепловыделяемых радиоэлементов, с рекомендациями по их установке;

• Обзор существующих вариантов конструктивов бортовой аппаратуры космических аппаратов с разными схемами отведения тепла: параллельная, последовательная и комбинированная;

• Рекомендации по применению рассматриваемых конструктивов.

По результатам решения изобретательских задач разработаны вновь, запатентованы, внедрены на производство, неоднократно изготовлены, испытаны и успешно эксплуатируются более семи лет в составе космических аппаратов конструктивы, в которых реализованы все три схемы отведения тепла: последовательная, параллельная и комбинированная. Эти конструктивы имеют конкурентное преимущество перед

существовавшими ранее аналогами. Также разработана принципиально новая эластичная теплопроводная прокладка.

Проведен анализ рынка, определен экономический эффект, обозначены преимущества и востребованность результатов проделанной работы. Возможно дальнейшее развитие описанной работы.

Литература:

1. Муравьев Ю. Особенности проектирования и производства печатных плат на металлическом основании // Производство электроники: Технология, оборудования, материалы. 2010. № 2. С. 35–38.

2. Муромцев Д.Ю., Тюрин И.В., Белоусов О.А. Конструирование узлов и устройств электронных средств: учебное пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2013. 540 с.

3. Радиоэлектронный блок: пат. Рос. Федерация / Шумских И.Ю., Костин А.В., Маньшин С.А., Бусарев Т.Ю., Степанов В.А. – № 2671004 С 1; Бюл. № 31, 29.10.2018. 8 с.

4. Радиоэлектронный блок теплонагруженный: пат. Рос. Федерация / Шумских И.Ю., Костин А.В., Маньшин С.А., Бусарев Т.Ю., Латыпов Р.З. – № 2671852 С 1; Бюл. № 31; 05.10.2017. 9 с.

5. Теплонагруженный радиоэлектронный блок: пат. Рос. Федерация / Шумских И.Ю., Костин А.В., Маньшин С.А., Латыпов Р.З., Бусарев Т.Ю. № 2676080 С 1. Бюл. № 36; 26.12.2018. 10 с.

The constructs of the heatloaded spacecraft onboard equipment working in the conditions of space vacuum

Shumskikh I.Y.

JSC “RSC “Progress”, Samara, Russia

The purpose of work was creation of new standard highly effective heat-removing constructive solutions of the spacecraft onboard equipment, and also creation of recommendations and methods of their application and possible further improvement.

For achievement of the set purpose the research tasks including theoretical calculations and modeling in the specialized software (ANSYS Mechanical) and also inventive tasks of design of new constructive solutions have been solved.

By results of the decision of research tasks are provided:

• The analysis of options of mounting of the different heatallocated radioelements, with recommendations about their mounting;

• Overview of existing options of constructive solutions of the spacecrafts onboard equipment with different schemes of assignment of heat: parallel, consecutive and combined;

• Recommendations about application of the considered constructive solutions.

By results of the decision of inventive tasks the constructs which are again developed, patented, implemented on production, repeatedly made, tested and successfully operated as a part of spacecrafts in which all three schemes of assignment of heat are implemented are described: consecutive, parallel and combined. Competitive advantage of these constructive solutions before the analogs existing earlier is described. The description of unique elastic heat-conducting gasket is provided.

The analysis of the market is carried out, the economic justification of advantage and the analysis of demand of results of the done work is provided. It is specified possibility of further development of the described work.

6. Робототехника, интеллектуальные системы и авиационное вооружение

6. Robotics, intelligent systems and aircraft armament

Пути повышения эффективности анализа лётных происшествий при использовании АСП методами математического моделирования ударных процессов

Голдовский А.А., Дуняшев Д.А., Правидло М.Н.
Вымпел, г. Москва, Россия

Всё возрастающие скоростные и маневренные характеристики современных и перспективных авиационных комплексов, использующих авиационные средства поражения (АСП), в настоящее время приводят к существенному увеличению уровня воздействия аэродинамических интерференционных возмущений на входящие в состав этих комплексов авиационные средства поражения. Указанные воздействия, в свою очередь, оказывают влияние как на процесс отделения АСП от самолета-носителя (СН), так и на начальный участок полёта АСП в окрестности носителя. Известны подробные математические модели, позволяющие оценивать безопасность отделения таких АСП. Их использование, как правило, позволяет ответить на большую часть вопросов, касающихся безопасности применения АСП на конкретных режимах полёта носителя, а именно:

1) отсутствие соударения АСП с элементами конструкции СН или установленными на соседних точках подвески грузами при полете управляемой АСП в окрестности ЛА;

2) сохранение пространственной устойчивости АСП при его полете от момента потери физической связи с пусковым устройством, до момента начала управляемого полёта при замыкании контура наведения АСП на цель;

3) отсутствие термодинамического воздействия газовой струи АСП на элементы конструкции и грузы, установленные на СН, а также на его двигательную установку.

Однако данные модели крайне ограничены в вопросах исследований нештатных ситуаций, возникающих в процессе эксплуатации АСП на современных авиационных комплексах. Так, например, в моделях исследования старта отсутствуют модули, позволяющие оценить характер повреждений, нанесённых АСП в случае соударения с соседними подвесками или элементами конструкции СН. Указанная информация, помимо её полезности при расследовании летных происшествий, может быть использована для уточнения величин аэродинамического воздействия на АСП и, как следствие, являться основанием для определения зон безопасного применения АСП с самолёта-носителя.

Для оценки условий возникновения лётного происшествия предлагается комплексная методика, включающая в себя следующие основные операции:

1) Разработка трёхмерных моделей объектов, участвующих в ударном процессе.

2) Разработка математической модели контактного взаимодействия.

3) Многомерная оценка сходимости результатов расчёта и деформированного состояния натурного объекта.

4) Определение положения АСП относительно элементов конструкции СН в момент контакта.

5) Поиск условий, приводящих к лётному происшествию, методами оптимизации траекторий.

Some ways of improvement the efficiency of flight accident analysis when using aviation armament by methods of mathematical modeling of impact processes

Goldovsky A.A., Dunyashev D.A., Pravidlo M.N.
Vympel, Moscow, Russia

The ever-increasing speed and maneuverability characteristics of modern and advanced aviation complexes using aviation armament currently lead to a significant increase of the impact level of aerodynamic interference disturbances affecting the aviation weapons included in these complexes.

In turn, these effects affect both the process of separation of the aviation armament from the carrier aircraft, and the initial section of its flight in the vicinity of the carrier. Detailed mathematical models are known that make it possible to assess the safety of such flights. As a rule, it allows to answer most of the questions concerning the safety of using aviation armament in specific flight modes of the carrier, namely:

• No collision of the armament with the structural elements of the carrier aircraft or loads installed on adjacent suspension points during the controlled flight of the aviation armament in the vicinity of the aircraft;

• Maintaining the spatial stability of the aviation armament during it's flight from the moment of the physical loss with the launcher, until the beginning of the controlled flight when the armament guidance loop closes on the target;

• The absence of thermodynamic effect of the aviation armament gas jet on the structural elements and the loads installed on the aircraft, as well as on it's engine system.

However, these models are extremely limited in the study of emergency situations that arise during the operation of the aviation armament on modern aircraft complexes. So, for example, in the mathematical models of the launch study, there are no solutions that allow us to assess the nature of damage caused by the armament in case of the collision with neighboring suspensions or structural elements of the aircraft. In addition to it's usefulness in the investigation of flight accidents, this information can be used to clarify the values of the aerodynamic impact on the armament and, as a result, can become the basis for determining the safe zones of the armament usage at the carrier aircraft.

To assess the conditions of occurrence of a flight accident, a comprehensive methodology is proposed, which includes the following basic operations :

• Development of three-dimensional models of objects involved in the impact process.

• Development of a mathematical model of contact interaction.

• Multidimensional estimation of the convergence of calculation results and the deformed state of a full-scale object.

• Determination of the position of the armament relative to the structural elements of the aircraft at the time of contact.

• Searching for conditions that lead to a flight accident using trajectory optimization methods.

Малогабаритное АКУ для перспективных БЛА

Дуняшев Д.А., Голдовский А.А., Правидло М.Н.
ГосМКБ «Вымпел» им. И.И. Торопова, г. Москва, Россия

В настоящее время отчетливо проявляется интерес использования беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в воздушном бою. Это обуславливает актуальность научно-технического развития авиационного ракетного вооружения в направлении создания малогабаритного управляемого АСП, входящего в состав комплекса вооружения перспективных БЛА для поражения воздушных целей. Создание такого АСП неразрывно связано с созданием авиационной пусковой установки для этого изделия. Как известно, современные устройства старта, такие как авиационные катапультные устройства (АКУ) или авиационные пусковые устройства рельсового или трубчатого типов имеют ряд особенностей, затрудняющих реализацию безопасного для легкого носителя типа БЛА отделения АСП. Рациональное решение поставленной задачи видится в создании такого авиационного катапультного устройства, которое будет осуществлять старт АСП без значительных нагрузок на носитель, формируя при этом благоприятные начальные условия полета АСП для обеспечения его стабилизации на начальном участке. При создании такого АКУ немаловажным является вопрос компоновки и влияния самого устройства на носитель, поскольку, например, значительные его габариты могут привести к ухудшению маневренных характеристик БЛА.

Разработаны различные варианты кинематических схем с целью выбора наиболее рациональной в части продольных габаритов. Из них наибольший интерес представляют те, у которых кинематика механизма вывода АСП размещается внутри бугельной базы

подвешиваемого изделия, что позволяет минимизировать габариты АКУ. Кроме этого, важно учесть уровень сложности конструкции, её потенциальную массу, а также влияние работы механизма катапультирования АСП на конструкцию БЛА. Вместе с этим, важно разработать кинематику механизма, обеспечивающую начальные условия полета изделия, благоприятные для его безопасности отделения от носителя.

С учетом вышеуказанных требований, разработан комплексный критерий, по которому выбрана кинематическая схема малогабаритного катапультного устройства, позволяющая обеспечить размещение механизма катапультирования внутри бугельной базы изделия. Конструкция такого АКУ отличается от известных на данный момент схем оригинальным размещением рычагов и привода, Данное техническое решение представляет собой устройство, в котором изделие удерживается двумя несущими рычагами, соединенными между собой с помощью кулисного механизма. Как показал анализ динамики движения такого устройства, проведенный с использованием его математической модели, такое АКУ позволяет снизить требование к величине усилия, развиваемого силовым приводом механизма катапультирования, что и обеспечивает снижение уровня силового влияния АКУ на носитель при катапультном старте изделия.

Small-sized ejection launcher for perspective UAV's

Dunyashev D.A., Goldovsky A.A., Pravidlo M.N.
SMBDB “Vympelпe” by name I.I. Toropov, Moscow, Russia

Currently, there is a clear interest in the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in aerial combat. This determines the relevance of the scientific and technical development of aviation missile weapons in the direction of creating a small-sized controlled vehicle, which is part of the advanced UAV armament complex to be used against aerial targets. The creation of such device is inextricably linked with the creation of an aircraft launcher for this product. As is known, modern launch devices, such as aircraft ejection devices or aircraft launching devices of rail or tubular types have a number of features that make it difficult to implement a safe department of the vehicle from a light type of carrier UAV. A rational solution to the task is seen in the creation of such an aircraft ejection device that will launch the device without significant loads on the carrier, while forming favorable initial conditions for it's flight to ensure its stabilization at the initial site. When creating such launcher, the issue of the layout and the influence of the device itself on the carrier is important, since, for example, its significant dimensions can lead to a deterioration in the maneuverability characteristics of the UAV.

Various variants of kinematic schemes have been developed in order to choose the most rational in terms of longitudinal dimensions. Of these, the most interesting are those in which the kinematics of output mechanism is located inside the tow base of the suspended product, which minimizes the dimensions of the launcher. In addition, it is important to take into account the level of complexity of the design, its potential mass, as well as the effect of the operation of the ejection mechanism on the structure of the UAV. At the same time, it is important to develop the kinematics of the mechanism that ensures the initial flight conditions of the product, favorable for its safe separation from the carrier.

Taking into account the above requirements, a comprehensive criterion has been developed, according to which a kinematic scheme of a small-sized ejection device has been selected, which allows for the placement of the ejection mechanism inside the product's tow base. The design of such launcher differs from the currently known schemes by the original placement of levers and drive, This technical solution is a device in which the product is held by two load-bearing levers connected to each other by means of a rocker mechanism. As the analysis of the dynamics of the movement of such a device, carried out using its mathematical model, has shown that such launcher reduces the requirement for the magnitude of the force developed by the power drive of the ejection mechanism, which ensures a reduction in the level of the power influence on the carrier during the ejection launch of the product.

Концепция эффективного энергообеспечения микроботов для авиационных и космических систем

[1]Жуков А.А., [2]Дмитриев А.С.
[1]МАИ, [2]МЭИ», г. Москва, Россия

Одной из важнейших технических проблем функционирования автономных микроботов для авиационных и/или космических систем является увеличение продолжительности функционирования при росте функциональных возможностей, что неизбежно связано с энергообеспечением [1-3]. Проблема становится в особенности актуальной в связи с бурным развитием микробототехники.

Цель работы – определение путей развития эффективного энергообеспечения автономных мобильных микробототов авиационного и космического назначения.

Автономные мобильные микроботы размерами от нескольких миллиметров до нескольких дециметров, снабженные служебными и целевыми системами предназначены для инспекции труднодоступных и/или опасных для человека мест в технике. Проведен анализ возможных пассивных и активных систем энергообеспечения, включая системы хранения тепловой и электрической энергии, в т.ч. на основе наноматериалов, активные системы на базе солнечной фотовольтаики, термофотовольтаики, генерации тепла и пара солнечным излучением, радиоизотопных источников, систем лазерного и СВЧ энергоснабжения, топливных и водородных энергетических ячеек, а также солнечного термоэлектрического преобразования. Наиболее перспективным и технически обоснованным представляется использование док-станции, расположенных в зоне действия микроботов и входящей в состав микробототехнического комплекса. Показаны возможности реализации микробототехнических комплексов с применением док-станций.

Литература:

1. T. Ozaki, N. Ohta, T. Jimbo and K. Hamaguchi. A wireless radiofrequency-powered insect-scale flapping-wing aerial vehicle. Nature Electronics. V. 4. Nov. 2021. 845–852.

2. A. Le, L. Truong, T. Quyen, C. Nguyen, M. Nguyen. Wireless Power Transfer Near-field Technologies for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Review. EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems. 10. 2019 - 01 2020.| V. 7. Issue 22. e5.

3. А.С. Дмитриев, А.А. Жуков, А.А. Никитин. Об энергообеспечении шагающего космического микроробота. Сборник тезисов 33-й МНТК «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА». – Санкт-Петербург: ООО «Типография Фурсова», 2022. – 358 с. С. 328-330

The concept of efficient energy supply of micro robots for aviation and space systems

[1]Zhukov A.A., [2]Dmitriev A.S.
[1]MAI, [2]MPEI, Moscow, Russia

One of the most important technical problems of the functioning of autonomous micro robots for aviation and/or space systems is an increase in the duration of operation with an increase in functionality, which is inevitably associated with energy supply [1-3]. The problem becomes particularly relevant in connection with the rapid development of micro robotics.

The purpose of the work is to identify ways to develop effective energy supply for autonomous mobile micro-robots for aviation and space purposes.

Autonomous mobile micro robots ranging in size from a few millimeters to several decimeters, equipped with service and target systems are designed for inspection of hard-to-reach and/or dangerous places for humans in technology. The analysis of possible passive and active energy supply systems, including thermal and electrical energy storage systems, including those based on nanomaterials, active systems based on solar photovoltaics, thermophotovoltaics, generation of heat and steam by solar radiation, radioisotope sources, laser and microwave power supply systems, fuel and hydrogen energy cells, as well as solar thermoelectric conversion is carried out. The most promising and technically justified is the use of a docking station located in the area of operation of micro robots and part of a micro robotics complex. The possibilities of implementing micro-robotic complexes with the use of docking stations are shown.

Literature:
1. T. Ozaki, N. Ohta, T. Jimbo and K. Hamaguchi. A wireless radiofrequency-powered insect-scale flapping-wing aerial vehicle. Nature Electronics. V. 4. Nov. 2021. 845–852.
2. A. Le, L. Truong, T. Quyen, C. Nguyen, M. Nguyen. Wireless Power Transfer Near-field Technologies for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Review. EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems. 10. 2019 - 01 2020.| V. 7. Issue 22. e5.
3. A.S. Dmitriev, A.A. Zhukov, A.A. Nikitin. About the energy supply of a walking space micro robot. Collection of abstracts of the 33rd ISTC "EXTREME ROBOTICS". – Saint Petersburg: LLC "Fursova Printing House", 2022. – 358 p. p. 328-330

Разработка демонстратора унифицированного обмена между авиационными приложениями

[1]Камалетдинова Г.Р., [1]Солоделов Ю.А., [2]Кожанов К.Д.
[1]МАИ, г. Москва, [2]ФАУ «ГосНИИАС», г. Москва, Россия

Программные модули бортового комплекса управления самолетов взаимодействуют посредством обмена сообщениями. Для реализации этого, содержание и представление сообщения, выдаваемого одним программным модулем, должно совпадать с ожиданиями другого. Однако нередко возникает ситуация, когда согласованность форматов отсутствует. В случае, когда взаимодействующие модули квалифицированы, дополнительной сложностью представляется их изменение с целью коррекции сообщений, так как это потребует прохождения повторной квалификации.

Консорциум Open Group FACE (Future Airborne Capability Environment) разрабатывает и продвигает одноименный стандарт, который нацелен, в том числе, на облегчение увязки повторного используемого программного обеспечения. Основываясь на изложенных подходах, самым простым решением является создание и использование дополнительного сервисного программного обеспечения, которое обеспечит адаптацию форматов сообщений и позволит унифицировать процесс обмена сообщениями, что также позволит упросить интеграцию повторно используемых модулей в будущем.

Рассматриваемое программное обеспечение (ПО) должно позволять адаптироваться к самым различным вариантам ввода и вывода, а также при необходимости проводить преобразования как форматов представления данных, так и данных. Поэтому представляется целесообразным изменять как можно большее число параметров через конфигурационный файл.

В рамках данной работы, ФАУ «ГосНИИАС» был разработан Демонстратор Информационного Обмена унифицированных функциональных компонентов, который включает в себя сервисное ПО информационного обмена унифицированных функциональных модулей и позволяет оценить реализацию информационного обмена, а также проводить тестирование. ПО создавалось для запуска под операционной системой реального времени JetOS. Данная операционная система предоставляет интерфейс сервисов, соответствующий стандарту ARINC653 (Avionics Application Software Standard Interface). Прототип рассматриваемого сервисного программного обеспечения можно представить, как интеграционный проект, содержащий внутри себя партиционный проект, а также настроечные и конфигурационные файлы.

На данном этапе демонстратор состоит из программного модуля виртуальной машины с операционными системами Linux и JetOS и запущенными в них сервисным ПО информационного обмена унифицированных функциональных модулей, ПО модели автопилота, ПО функции самолётовождения и системным сетевым разделом, а также модуля с операционной системы Windows, с запущенными в ней ПО системы общей памяти, ПО просмотра и модификации значений параметров, Модели летательного аппарата МС-21, ПО утилиты взаимодействия с сетевым разделом, ПО пульта управления полетом, ПО пилотажного кадра.

На данный момент, сервисное ПО позволяет реализовывать обмен сообщениями между модулями автопилотирования, самолетовождения и внешнем окружением. Планируется

проведение дальнейших работ с целью повышения универсальности сервисного ПО и упрощения его конфигурирования.

Литература:

1. The Open Group FACE™ Consortium. [Электронный ресурс]. URL: https://www.opengroup.org/face

2. ARINC Specification 653 Avionics Application Software Standard Interface Set. SAE-ITC. 2019. vol. 1. no. 5.

3. ГОСНИИАС.2200.100.1388-001СП. Спецификация требований к сервисному ПО, обеспечивающему информационный обмен унифицированных функциональных модулей. М.: ГосНИИАС, 2020. 18 с.

4. Инструкция по эксплуатации (JetOS Manual Guide). Ревизия 0.53. М.: ГосНИИАС, ИСП РАН, 2022. 119 с.

Development of unified messaging demonstrator in aviation applications

[1]Kamaletdinova G.R., [1]Solodelov Yu.A., [2]Kozhanov K.D.

[1]MAI, [2]FAU GosNIIAS, Moscow, Russia

Software modules of the onboard aircraft control complex interact by messaging.

In this case, the format and data of output messages of one program module should meet the format and data of input messages of another program module. However, the formats contrariety is a very common situation. If the modules have been already qualified, the messages format reconstruction is more complex since it requires a re-qualification.

The FACE (Future Airborne Capability Environment) consortium, led by the Open Group, is developing and promoting a standard aimed to simplify the linking of reusable software.

Based on the outlined approaches, the simplest solution is to develop and use additional service software that will adapt message formats and unify the messaging process. This idea will also simplify the integration of reusable modules in the future.

The developing software should be adapted to a wide variety of input and output options, as well as should be able to convert both formats and data. Therefore, it seems advisable to change as many parameters as possible through the configuration file.

As a result of this study, the Demonstrator of the Information Exchange of Unified Functional Components was created on the base of GosNIIAS. This project allows testing and evaluating the implementation of information exchange by unified messaging as this service software is a part of the Demonstrator.

The software was created to run under the JetOS real-time operating system. This operating system provides a service interface conforming to the ARINC653 standard (Avionics Application Software Standard Interface). The prototype of the developed service software can be represented as an integration project containing a partition project, as well as setup and configuration files.

At this stage, the Demonstrator consists of the following software modules: Virtual machine software module based on Linux and JetOS operation systems and running service software for unifying messaging, Software for Flight Management System, Software for the Autopilot model and system partition ethernet; Windows based software module with software for the Exchange System, Software for viewing and modifying parameter values, Model of the aircraft MS-21, network storage access software, Software for the flight control panel, Software for the flight synoptic pages.

At the moment, the service software connects the autopilot, flight management modules and external environment. Extension of the software is planned for flexibility improvement and configuration management simplification.

Робот «Дружок»

Кашин Д.Д., Полторак Д.С., Лебедев М.А., Миронов И.И.

МАИ, г. Москва, Россия

С развитием технологий человек не раз задумывался над созданием искусственных устройств, которые во многом повторяют то, что уже есть в природе: животных, человека. По началу эти объекты не имели какого-либо назначения, но со временем начинали обретать

определённый смысл: не только повторять природу, но и выполнять определённые задачи, которые принесут человеку пользу и облегчат его жизнь.

В современном мире существует множество работ, которые человеку выполнять трудно, вредно, а порой и вовсе опасно для здоровья. Именно поэтому современная робототехника ищет решения для того, чтобы избавить его от лишних проблем, и возложить выполнение максимально возможного числа задач на робота.

В качестве одного из таких решений мы предлагаем робота «Дружок», который своим видом напоминает домашнее животное – собаку.

Возможными функциями такого робота станут:

• Социальные:
• Поводырь;
• Компаньон;
• Военные:
• Разведчик;
• Сапёр;
• Специальные:
• Помощь в поисково-спасательных операциях
• Радиационная разведка

В настоящее время разработан функционирующий прототип робота.

Для этого была спроектирована трёхмерная модель, которая впоследствии была напечатана на 3D-принтере и собрана. Для монтажа электронных компонентов, связи силовой и управляющей части, а также экономии места на размещении проводов внутри корпуса, разработана и напечатана собственная печатная плата. В качестве источника питания выступает литий-полимерный аккумулятор. Робот управляется с помощью бортового компьютера, который позволяет реализовывать задачи, связанные с перемещением и ориентацией в пространстве. Также подключена видеокамера для фото и видео съемки.

В перспективе налаживание алгоритмов компьютерного зрения, позволяющих обрабатывать поступающую с видеокамеры информацию, улучшение алгоритма ходьбы и использование информационно географических систем (картографию) для ориентации в пространстве и определения координат (привязки к местности).

Robot "Druzhok"

Kashin D.D., Poltorak D.S., Lebedev M.A., Mironov I.I.
MAI, Moscow, Russia

With the development of technology, people have repeatedly thought about creating artificial devices that largely repeat what already exists in nature: animals, humans. At first, these objects did not have any purpose, but over time they began to acquire a certain meaning: not only to repeat nature, but also to perform certain tasks that will benefit a person and make his life easier.

In the modern world, there are many jobs that are difficult for a person to perform, harmful, and sometimes even dangerous to health. That is why modern robotics is looking for solutions in order to save it from unnecessary problems, and assign the execution of the maximum possible number of tasks to the robot.

As one of these solutions, we offer a robot "Druzhok", which looks like a pet dog.

Possible functions of such a robot will be:

• Social:
• Guide dog;
• Companion;
• Military:
• Scout;
• Minesweeper;
• Special:
• Assistance in search and rescue operations
• Radiation exploration

Currently, a functioning prototype of the robot has been developed.

For this purpose, a three-dimensional model was designed, which was subsequently printed on a 3D printer and assembled. For the installation of electronic components, the connection of the power and control parts, as well as saving space on the placement of wires inside the housing, a proprietary printed circuit board has been developed and printed. A lithium polymer battery acts as a power source. The robot is controlled by an on-board computer, which allows you to implement tasks related to movement and orientation in space. A video camera for photo and video shooting is also connected.

In the future, the establishment of computer vision algorithms that allow processing information coming from a video camera, improving the walking algorithm and using geographic information systems (cartography) for orientation in space and determining coordinates (linking to the terrain).

Методика моделирования параметрических деталей и сборок с использованием T-Flex CAD

Котлов М.А., Конова С.С., Воронин В.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Создание параметрических 3D моделей, деталей и сборок является актуальным направлением развития автоматизации проектирования в частности для повышения производительности труда и эффективности разработки рабочей конструкторской документации, а также технологических производственных процессов.

Система T-Flex CAD позволяет использовать геометрическую или размерную параметризацию для создания эскизов и чертежей, а также применять гибридную параметризацию, объединяющую оба способа.

Основное достоинство параметрического моделирования заключается как раз в том, что при настройке трехмерной модели её геометрия может быть перестроена, как только изменяются такие параметры как размеры, варианты исполнения и т.п.

При редактировании одного и более параметров модели нет необходимости создавать с нуля модель всякий раз, когда она нуждается в изменении. Это значительно экономит время конструкторов, особенно на стадии проектирования.

Новый подход к идее параметризации и то, что параметрическая модель лежит в основе чертежа, при работе в системе T-Flex CAD качественно расширяют возможности параметрического проектирования.

T-Flex CAD использует привычные для конструктора элементы и параметры проектирования. Уникальными по своим возможностям являются средства создания сборочных параметрических чертежей. T-Flex CAD позволяет получать сложные чертежи, в которых его отдельные части могут быть взаимосвязаны. Связь можно задать как через геометрическую зависимость, так и через значения параметров.

Цель работы – подробнее рассмотреть и описать методику моделирования и использования параметрических деталей и сборок, примененную в T-Flex CAD, что представляет собой следующие этапы:

• Формирование базы данных, содержащей все возможные значения параметров 3D модели.

База данных – способ упорядоченного хранения данных. Представляет собой набор столбцов и строк. Каждый столбец идентифицируется своим именем. Достаточно построить параметрическую модель и, задавая в качестве параметров соответствующие значения из таблицы базы данных, получать различные модификации созданной модели.

• Создание переменных, связанных с соответствующими элементами базы данных.

• Моделирование детали на основе переменных.

• Создание простого макроса на основе API-функций T-Flex CAD.

Макрос выполняется как одна команда, при однократном запуске макроса будет выполнен весь набор действий, заложенных внутри него (работа с объектами, вывод результатов и т.д.)

• Разработка диалогового окна, обеспечивающего эффективный ввод и редактирование данных, а также перестроение как модели, так и созданного на её основе чертежа.

• Создание «коннекторов», способствующих удобной интеграции параметрических моделей в сборку.

• Добавление индикатора «корректности» выбранных параметров.

Methodology for modeling parametric parts and assemblies using T-Flex CAD

Kotlov M.A., Konova S.S., Voronin V.V.
MAI, Moscow, Russia

Creation of parametric 3D models, parts and assemblies is an actual direction of development of design automation in particular to increase labor productivity and efficiency of development of working design documentation, as well as technological production processes.

T-Flex CAD allows you to use geometric or dimensional parametrization to create sketches and drawings, or use hybrid parametrization that combines both methods.

The main advantage of parametric modeling is just the fact that when you set up a three-dimensional model, its geometry can be rebuilt as soon as parameters such as dimensions, versions, etc. change.

By editing one or more model parameters, there is no need to create a model from scratch every time it needs to be changed. This saves designers a lot of time, especially in the design phase.

A new approach to the idea of parametrization and the fact that the parametric model is the basis of the drawing when working with the T-Flex CAD system qualitatively expands the possibilities of parametric design.

T-Flex CAD uses familiar design elements and parameters. Unique in its capabilities are the tools for creating assembly parametric drawings. T-Flex CAD produces complex drawings in which the individual parts can be interconnected. The relationship can be defined either through geometric relationships or through parameter values.

The purpose of the work is to detail and describe the modeling technique and the use of parametric parts and assemblies applied in T-Flex CAD, which is represented by the following steps:

• Forming a database containing all possible values of 3D model parameters.

A database is a way of storing data in an orderly fashion. It is a set of columns and rows. Each column is identified by its name. It is enough to build a parametric model and, by setting as parameters the corresponding values from the database table, obtain various modifications of the created model.

• Creation of variables associated with the corresponding database elements.

• Variable-based modeling of the part.

• Creating a simple macro based on T-Flex CAD API functions.

The macro is executed as a single command, a single run of the macro will perform the entire set of actions that are built into it (working with objects, outputting results, etc.)

• Developing a dialog box that provides efficient data entry and editing, as well as rebuilding both the model and the drawing created from it.

• Creation of "connectors" that facilitate easy integration of parametric models into the assembly.

• Adding an indicator of "correctness" of the selected parameters

Обеспечение теплового состояния высокоскоростного беспилотного летательного аппарата с использованием аэрогеля в качестве внутреннего теплозащитного материала

[1]Матковский Н.О., [2]Тишков В.В.
[1]ГосМКБ «Вымпел» им. И.И. Торопова», [2]МАИ, г. Москва, Россия

С увеличением скоростных характеристик БпЛА непрерывно растут температурные уровни нагрева их элементов конструкции [1]. Использование различных методов тепловой защиты БпЛА при интенсивном воздействии аэродинамического нагрева необходимо в обеспечении теплового состояния его бортовой аппаратуры. Рассмотрен метод пассивной тепловой защиты бортовой аппаратуры БпЛА, в качестве внутреннего ТЗП исследуется материал дискретного волокна на основе оксида алюминия и кварцевого волокна – аэрогель. Рабочие температуры образцов гибких материалов, изготовленных на основе алюминия, варьируются от 1200 до 1700°С [2, 3]. Аэрогель имеет сложную структуру с трехмерным сетчатым каркасом, состоящим из взаимосвязанных сферических наночастиц, обладает низкой плотностью и

теплопроводностью. Такая структура затрудняет передачу тепла, поэтому одним из наиболее распространенных применений аэрогеля является использование в качестве теплоизоляции, особенно в экстремальных криогенных или высокотемпературных условиях, в том числе при температурах до 2000°C [4]. Исследование и производство материала нового класса производится в ряде российских институтов [5].

Результаты математического моделирования воздействия аэродинамического нагрева на высокоскоростной БпЛА показали снижение температуры его бортовой аппаратуры с критических показателей до приемлемого уровня, свидетельствующего о необходимости в дальнейшем изучении и уточнении теплофизических характеристик теплозащитных материалов типа «аэрогель».

Литература:

1. Гусейнов А.Б. Особенности разработки крылатых ракет, Учеб. Пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2015. – 108 с.

2. Bo Yuan, Shuqiang Ding, Dongdong Wang, Gang Wang, Hongxia Li. Heat insulation properties of silica aerogel/glass fiber composites fabricated by press forming. Materials letters. Volume 75, 15 May 2012, Pages 204-206. DOI: 10.1016/j.matlet.2012.01.114.

3. Бабашов В.Г., Варрик Н.М. Высокотемпературный гибкий волокнистый теплоизоляционный материал // Труды ВИАМ. 2015. №1.

4. C. Bi, G.H. Tang, Z.J. Hu. Heat conduction modelling in 3-D ordered structures for prediction of aerogel thermal conductivity. International Journal of Heat and Mass Transfer. Volume 73, June 2014, Pages 103-109.

5. В.Г. Бабашов, Н.М. Варрик, Т.А. Карасева. Применение аэрогелей для создания теплоизоляционных материалов (Обзор) // Труды ВИАМ. 2019. №6. С. 32-42. DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-32-42.

Providing the thermal condition of a high-speed unmanned aerial vehicle using aerogel as an internal heat-protective material

[1]Matkovskiy N.O., [2]Tishkov V.V.

[1]SMBDB "Vympel" by name I.I. Toropov", [2]MAI, Moscow, Russia

With an increase in the speed characteristics of UAVs, the temperature levels of heating of their structural elements continuously increase [1]. The use of various methods of thermal protection of the UAV with the intense influence of aerodynamic heating is necessary to provide the thermal condition of its hardware. The method of passive thermal protection of UAV hardware is considered, the material of a discrete fiber based on aluminum oxide and quartz fiber - aerogel is studied as an internal thermal protection coating. The operating temperatures of samples of flexible materials made on the basis of aluminum vary from 1200 to 1700°C [2, 3]. Aerogel has a complex structure with a three-dimensional mesh frame consisting of interconnected spherical nanoparticles, has a low density and thermal conductivity. This structure makes it difficult to transfer heat, so one of the most common applications of aerogel is its use as thermal insulation, especially in extreme cryogenic or high-temperature conditions, including at temperatures up to 2000°C [4]. Research and production of a new class of material is carried out in a number of Russian institutes [5].

The results of aerodynamic heating simulation on a high-speed UAV represented a decrease in the temperature of its hardware from critical indicators to an acceptable level, indicating the need for further study and refinement of the thermophysical characteristics of thermal protective materials of the "aerogel" type.

References:

1. Guseinov A.B. Osobennosti razrabotki krylatykh raket [Features of the development of cruise missiles], Uchebnoe posobie [Study guide]. – M.: Izdatel'stvo MAI [MAI Publishing House], 2015. – 108 P.

2. Bo Yuan, Shuqiang Ding, Dongdong Wang, Gang Wang, Hongxia Li. Heat insulation properties of silica aerogel/glass fiber composites fabricated by press forming. Materials letters. Volume 75, 15 May 2012, Pages 204-206. DOI: 10.1016/j.matlet.2012.01.114.

3. Babashov V.G., Varrik N.M. Vysokotemperaturnyi gibkii voloknistyi teploizolyatsionnyi material [High Temperature flexible fibrous thermal insulation material] // Trudy VIAM [Works of RIAM]. 2015. №1.

4. C. Bi, G.H. Tang, Z.J. Hu. Heat conduction modelling in 3-D ordered structures for prediction of aerogel thermal conductivity. International Journal of Heat and Mass Transfer. Volume 73, June 2014, Pages 103-109.

5. V.G. Babashov, N.M. Varrik, T.A. Karaseva. Primenenie aerogelei dlya sozdaniya teploizolyatsionnykh materialov (Obzor) [The use of aerogels for the creation of thermal insulation materials (Review)] // Trudy VIAM [Works of RIAM]. 2019. №6. P. 32-42. DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-32-42.

Основной вопрос философии при разработке робототехнических комплексов: данные и информация

Нетребская О.Н., Артёмова М.А., Груков Т.А., Еловский Д.Р., Рублев Д.О.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящей работе фундаментальные базовые понятия данные, информация, знание, цельное знание исследуются с позиций релевантного их применения при инженерном проектировании робототехнических комплексов (РТК) и беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Цель исследования – выявление условий, при которых в компонентах программно-аппаратного обеспечения РТК (и БЛА) возникает необходимость разделения и преодоления противопоставления материальной и идеальной сущностей.

Основной вопрос философии – это вопрос об отношении сознания к бытию или, другими словами, духовного мира (идеального) к физическому (материальному) миру вообще.

Данные – это сигналы (процессы или явления) физического мира, несущие сообщения, формально представленные в материальном носителе в знаковой (символьной) форме, например, в виде текстов, последовательностей электромагнитных импульсов и т.п., без априорно определенного конкретного целеполагания их практического использования.

Информация в сообщении содержит контекстно-зависимый смысл (идеальную сущность) данных, передаваемых с определённым целеполаганием.

Знание – проверенный практикой результат познания действительности, верное её отражение в сознании человека, форма существования и систематизации результатов познавательной деятельности человека.

Категория цельное знание, разработанная русской философией всеединства XIX века, предполагает органический синтез различных видов знания, как рационального, так и нерационального. Русский космизм – течение русской философской мысли, основанное на холистическом мировоззрении. Включает в себя элементы науки, философии, религии, этики, искусства. Характеризуется осознанием всеобщей взаимообусловленности, всеединства, взаимосвязи космических и земных процессов, непротиворечивости идеального и материального.

При инженерном проектировании РТК (и БЛА) известные трудности рационального противопоставления данных и информации, вытекающие из основного вопроса философии, могут быть естественным образом преодолены посредством общесистемного применения аксиоматических положений Русского космизма на основе цельного знания.

Литература:

1. Нетребская О.Н., Ушаков Н.В. Мировоззренческий аспект исследования и разработки саморазвивающихся систем. Междисциплинарный подход/20-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». М. Тезисы. – М. 2021

2. Ушаков В.Н., Нетребская О.Н. и др. Требования к стандартизации систем управления группами роботов на основе результатов системного исследования/Труды ФГУП НПЦАП №2(44), 2018

The Basic Question of Philosophy in the Design of Robotic Complexes: Data and Information

Netrebskaya O.N., Artemova M.A., Grukov T.A., Elovsky D.R., Rublev D.O.
MAI, Moscow, Russia

In this paper, the fundamental basic concepts of data, information, knowledge, and integral knowledge are considered from the standpoint of their relevant application in the engineering design of robotic complexes (RTCs) and unmanned aerial vehicles (UAVs). The purpose of the study is to identify the conditions under which it is necessary to separate and overcome the opposition of material and ideal entities in the software and hardware components of the RTCs (and UAVs).

The basic question of philosophy is the question of the relation of the consciousness to the being or, in other words, the spiritual world (ideal) to the physical (material) world in general.

Data are signals (processes or phenomena) of the physical world that carry messages formally presented in a material medium in a symbolic form, for example, in the form of texts, sequences of electromagnetic pulses, etc., without a priori a specific goal setting for their practical use.

The information in the message contains the context-dependent meaning (ideal essence) of the data transmitted with a certain goal setting.

Knowledge is a proven result of cognition of reality, its correct reflection in human consciousness, a form of existence and systematization of the results of human cognitive activity.

The category of integral knowledge, developed by the Russian philosophy of unity in the XIX century, assumes an organic synthesis of various types of knowledge, both rational and irrational. Russian cosmism is a brunch of Russian philosophical thought based on a holistic worldview. It includes elements of science, philosophy, religion, ethics, and art. It is characterized by awareness of universal interdependence, unity, interrelation of cosmic and terrestrial processes, consistency of ideal and material.

In the engineering design of RTCs (and UAVs), the known difficulties of rational opposition of data and information arising from the basic question of philosophy can be naturally overcome through the system-wide application of axiomatic provisions of Russian cosmism on the basis of integral knowledge.

References:

1. Netrebskaya O.N., Ushakov N.V. The ideological aspect of research and development of self-developing systems. Interdisciplinary approach/20th International Conference "Aviation and Cosmonautics". M. Theses. – M. 2021

2. Ushakov V.N., Netrebskaya O.N. et al. Requirements for standardization of robot group management systems based on the results of a system study/Proceedings of FSUE NPCAP No.2(44)2018

Необходимые пути развития методологий обнаружения ошибок проектирования при создании систем индикации

Силин Н.Д., Берсуцкая О.Д.
МАИ, г. Москва, Россия

По мере развития стандартов обеспечения безопасности гражданской авиационной техники все больше внимания уделяется не только отказам оборудования, но и работе с возможными ошибками, которые могут либо привести к таким отказам, либо послужить причиной проблем иного характера [1]. Помимо множества прочих к таким ошибкам можно отнести ошибки проектирования системы индикации, а именно ошибки, допущенные при формировании требований к таким системам и при реализации этих требований, следствием которых может стать неудобное представление и неоднозначное понимание графической информации пилотами. Статистика показывает [2], что наиболее частой причиной авиационных происшествий по-прежнему является человеческий фактор, а значит – данная проблема продолжает требовать изучения и поиска новых способов её устранения.

Анализ работ в области обеспечения эффективности представления графической информации показал, что при проектировании графического интерфейса должны быть соблюдены ряд принципов, учитывающих влияние интерфейса на психофизиологическое состояние пилотов, а именно – он должен обладать минимальной информационной

нагруженностью, простотой и визуальной привлекательностью, удобством в части направленности на область выполняемых задач, структурностью, однозначностью, минимальным временем поиска необходимой команды и визуальными подсказками.

При валидации требований к системе индикации в части представления графической информации предлагается использовать методологии двух видов:

1. с привлечением группы пользователей – основанные на анализе пользовательских задач и экспертной оценке; метод фокус-групп; метод прототипирования; метод, основанный на эвристической оценке; анкетирование пользователей по итогам взаимодействия с системой;

2. основанные на формальных расчетах – методологии оценки сложности системы Тима Комбера и Джона Мэлтби; метод «GOMS»; бенчмаркетинг; метод измерения сложности «LOC-CC»; метод «XAOS»; модель Синка; методы, основанные на законах Фиттса и Хика).

При верификации реализации системы индикации предлагается использовать модифицированную методологию функционального тестирования с учетом особенностей и факторов, которые не могут быть формализованы и проверены стандартным тестированием. Классический подход к тестированию подразумевает разработку тестовых примеров на основе требований, их выполнение и последующее сравнение реально полученных результатов с ожидаемыми, указанными в требованиях. Модифицированный подход дополнительно включает в себя разработку и выполнение тестовых сценариев, описывающих различные сочетания и последовательности действий пилотов. Данные сценарии могут быть сформулированы как на естественном языке (в таком случае тестирование выполняется человеком), так и на формальном языке системы автоматизации пользовательского интерфейса. Также при выполнении сценариев пилотами предлагается включение в состав участников тестирования так называемого «наблюдателя», который будет выполнять дополнительную независимую оценку корректности восприятия графической информации и удобства работы с ней.

Литература:

1. Aerospace Recommended Practice ARP4754A. Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems. – The USA: SAE International, 2010. – 115 p.

2. Митрофанова А. А. Психологические факторы безопасности деятельности по управлению воздушным транспортом: теоретический анализ научных представлений // Известия Иркутского государственного университета. Серия Психология. 2020. Т. 33. С. 31–42.

Necessary ways to improve design errors detecting methodologies during Display systems development

Silin N.D., Bersutskaya O.D.
MAI, Moscow, Russia

Civil aviation safety standards [1], as they are being developed, increasingly focus not only on equipment failures, but also on dealing with possible errors that can either lead to such failures or cause problems of a different nature. In addition to many others, such errors include display system design errors, namely the errors made during the system requirements capture and their implementation. Such errors may result in inconvenient presentation and ambiguous understanding of graphic information by pilots. Statistics show [2] that the most common cause of aviation accidents is still the human factor, which means that this problem continues to require study and the search for new ways to eliminate it.

An analysis of articles in the field of ensuring the efficiency of presenting graphic information has shown that when designing a graphical interface, a number of principles should be observed that take into account the influence of the interface on the psychophysiological state of pilots, namely, it should have minimal information load, simplicity and visual appeal, convenience in terms of focusing on scope of tasks to be performed, structuredness, unambiguity, minimum search time for the required command, and visual cues.

When validating the requirements for the display system in terms of presenting graphic information, it is proposed to use the following types of methodologies:

1. involving the group of users (methodologies based on the analysis of user tasks and expert assessment; the focus group method; the prototyping method; the method based on heuristic evaluation; user surveys based on the results of interaction with the system);

2. based on formal calculations (methodologies of assessing the complexity of the system by Tim Comber and John Maltby; method «GOMS»; benchmarking; method of measuring complexity «LOC-CC»; method «XAOS»; Sink model; methods based on Fitts and Hick's laws).

For Display system implementation verification, it is proposed to use a modified methodology of functional testing, taking into account the features and factors that cannot be formalized and verified by standard testing. The classical approach to testing involves the development of test cases based on requirements, their execution and subsequent comparison of the actual results obtained with the expected results specified in the requirements. The modified approach additionally includes the development and execution of test scenarios that describe various combinations and sequences of pilot actions. These scenarios can be formulated both in natural language (in this case, testing is performed by a human), and in the formal language of the user interface automation system. Also, when executing scenarios, pilots are invited to include a so-called «observer» in the test participants, who will perform an additional independent assessment of the correctness of the perception of graphic information and the convenience of working with it.

References:

1. Aerospace Recommended Practice ARP4754A. Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems. – The USA: SAE International, 2010. – 115 p.

2. Mitrofanova A.A. Psychological Factors Affecting the Safety of Air Flight Control: Theoretical Analysis of Scientific Concepts. The Bulletin of Irkutsk State University. Series Psychology, 2020, vol. 33, pp. 31-42.

Адаптивное дублирование датчиков для беспилотных летательных аппаратов

Смирнов В.А.

ГосМКБ «Вымпел» им. И.И. Торопова», г. Москва, Россия

Одним из способов повышения точности показаний является комбинация нескольких датчиков одного типа для получения чистого сигнала. Это создает проблему увеличения сложности сбора данных с использованием дублирующих датчиков. Сведение данных от нескольких датчиков к одному сигналу — непростая задача. Поскольку датчики одного типа смещены друг относительно друга, измеренные значения, полученные от этих датчиков, отличаются друг от друга. В традиционном методе считывание сигналов требует извлечения различных взаимосвязей и шаблонов. Однако эти зависимости играют роль только в том случае, если положение датчика не меняется. Это обстоятельство накладывает определенные требования к точности готового изделия, что приводит к увеличению времени изготовления при неблагоприятных условиях. В то же время устранение формул, необходимых для комплексной работы датчиков, приводит к увеличению стоимости трудовых ресурсов, необходимых для разработки системы управления БПЛА.

Одним из способов решения вышеуказанных проблем является использование нейронных сетей. Этот метод позволяет избежать прямого требования необходимых расчетов и формул. Использование нейронной сети также позволяет отделить данные датчиков от их положения, так как эта функция заложена в алгоритме генерации сигналов. Кроме того, интегрированная деятельность датчиков под управлением нейросети повысит точность сигнала за счет сбора большего количества статистических данных.

Примером может служить конструкция резервированного датчика угла. Предлагаемая конструкция датчика угла состоит из трех датчиков Холла и вращающегося вокруг них магнита. Датчик Холла – датчик магнитного поля. При вращении магнит движется к датчикам Холла, регистрируя изменения магнитного поля. Таким образом, измеренные значения датчика Холла линейно зависят от его расстояния от магнита.

В традиционном методе для полной оценки результирующего сигнала необходимо вычислить угол поворота магнита относительно каждого датчика в отдельности и затем определить среднее арифметическое. Такой подход повысит точность измерения, но в

дальнейшем потребуется обработка полученного сигнала цифровыми фильтрами для сглаживания.

При калибровке датчиков угла с помощью нейронных сетей система управления должна быть предварительно обучена выдавать одиночный сигнал. Для этого нужно провести измерение, а затем сравнить данные с трех датчиков Холла одновременно с углом поворота потенциометра. Благодаря своим внутренним алгоритмам нейросеть затем сможет самостоятельно определять зависимости, необходимые для корректного функционирования системы управления в целом.

Это преимущество позволит сократить время и трудозатраты на разработку системы управления БПЛА в целом.

Список литературы:

1. Смирнов В.А., Снедков А.Б. Система управления беспилотного летательного аппарата на основе комбинированных датчиков // Инновации. Наука. Образование. 2021. №47. С. 1426-1430.

2. Ющенко А. С., Лебедев К. Р., Забихафар Х. Система управления квадрокоптером на основе адаптивной нейронной сети // Научное издание МГТУ им.Н.Э. Баумана. 2017. №7. С. 262–277.

Adaptive sensor duplication for unmanned aerial vehicles

Smirnov V.A.

JSC "SMBDB "Vimpel", Moscow, Russia

One type of redundancy is the combination of several sensors of the same type to obtain a clean signal. This creates the problem of increasing the complexity of collecting readings using duplicated sensors. Reducing the readings of several sensors to a single signal is not an easy task. Since sensors of the same type are located with a certain offset relative to each other, the readings received from these sensors will differ from each other. In the traditional method, reading a single signal requires extracting various dependencies and formulas. However, these dependencies will only matter if the sensor position does not change. This circumstance imposes certain requirements on the accuracy of the finished product, which in unfavorable conditions leads to an increase in production time. At the same time, the removal of formulas necessary for the complex operation of sensors leads to an increase in the labor required to develop a UAV control system.

One of the ways to solve the above problems is the use of neural networks. This method avoids the direct search for the necessary calculations and formulas. Using a neural network will also allow you to separate the sensor readings from its position, since this function will be included in the signal generation algorithm. In addition, the complex operation of sensors under the control of a neural network will improve the accuracy of the signal due to the accumulation of more statistical data.

An example is the design of a duplicate angle sensor. The proposed design of the angle sensor consists of three Hall sensors and a magnet rotating around them. Hall sensor is a magnetic field sensor. When rotating, the magnet moves towards the Hall sensors and thus registers changes in the magnetic field. Therefore, the Hall sensor readings depend linearly on its distance to the magnet.

In the traditional method, to fully evaluate the final signal, it is necessary to calculate the angle of rotation of the magnet relative to each sensor separately, and then find the arithmetic mean. This approach will increase the accuracy of the measurement, but in the future the received signal must be processed with digital filters for smoothing.

When calibrating angle sensors using neural networks, it is necessary to train the control system in advance to form a single signal. To do this, it is necessary to take measurements, and then compare the readings of three Hall sensors simultaneously relative to the angle of rotation of the potentiometer. Then the neural network, thanks to its internal algorithms, will be able to independently determine the dependence necessary for the proper functioning of the control system as a whole.

This advantage will reduce time and reduce labor costs when developing a UAV control system as a whole.

References:

1. Smirnov V.A., Snedkov A.B. Control system of an unmanned aerial vehicle based on combined sensors // Innovations. The science. Education. 2021. No. 47. pp. 1426-1430.
2. Yushchenko A. S., Lebedev K. R., Zabikhafar H. The control system of a quadrocopter based on an adaptive neural network // Scientific Edition of Bauman Moscow State Technical University. 2017. No. 7. pp. 262-277.

Об интеллектуальных интегрированных технологиях операционной деятельности космонавтов для пилотируемых космических полётов

[1]Чеботарев Ю.С., [1]Кикина А.Ю., [2]Белозерова И.Н., [1]Дикарев В.А.
[1]ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», Звёздный городок, Россия
[2]МАИ, г. Москва, Россия

Интеллектуальные интегрированные (объединяющие, сочетающие, совмещенные, совместные…) технологии виртуальной, дополненной реальности и манипуляции (ВДРиМ) возможно смогут стать заделом для создания интеллектуальных человеко-машинных интерфейсов (ЧМИ) эргатических систем. В эргатических системах традиционно рассматриваются интерфейсы «человек-машина», а интерфейсы «машина-человек», «машина-машина» нет. А это, возможно, стоит учитывать для развития технологии в интересах достижения коллабораций в таких системах [1]. Рассматриваются предпосылки создания интеллектуальных интегрированных технологий (ИИТ) ВДРиМ и возможные задачи их использования в интересах:

• Реализации «операторских режимов» манипуляции над различными объектами для перспективных пилотируемых космических полетов при их эксплуатации, обслуживании и ремонте;

• Операционной и информационной поддержки космонавтов при эксплуатации, обслуживании и ремонте различных объектов для перспективных пилотируемых космических полетов;

• Подготовки (тренажерной, дистанционной) специалистов и космонавтов.

Предполагается, что ИИТ ВДРиМ могут стать некоторым дополнением в развитии, в том числе, нового направления в науке и технике – интеллектуальные ЧМИ, которые смогут адаптироваться под конкретного космонавта (оператора) и конкретную машину, и обеспечивать «разумное» взаимодействие между ними, посредством речи, мимики, жестов, движений и т.п. Возможно, интеллектуальные

ЧМИ на базе ИИТ ВДРиМ, станут некоторым прототипом для виртуальных интеллектуальных интерфейсов машин, обеспечивающих «разумное» групповое взаимодействие между машинами в понятных и привычных для космонавтов формах

коммуникаций [2].

Литература:

1. Дикарев В.А., Чеботарев Ю.С. К проектированию компонентов коллаборативного взаимодействия космонавтов с робототехническими

системами для пилотируемых космических полетов. /Пленарные и избранные доклады Десятого Международного Аэрокосмического Конгресса «IAC'2021» (26-31 августа 2021 г.). – М.: РИА, 2021. – С. 253-258.

2. Применение технологий искусственного интеллекта при взаимодействии космонавтов с робототехническими комплексами в перспективных проектах /Харламов М.М., Карпов А.А., Крючков Б.И., Кикина А.Ю., Дикарев В.А., Усов В.М. // Искусственный интеллект: теоретические аспекты, практическое применение: материалы Донецкого международного научного круглого стола. − Донецк: ГУ «ИПИИ», 2021. – С. 114-119.

On intelligent integrated technologies of cosmonauts' operational activities for manned space flights

[1]Chebotarev Y.S., [1]Kikina A.Yu., [2]Belozerova I.N., [1]Dikarev V.A.
[1]GCTC, Star City, Russia
[2]MAI, Moscow, Russia

During a manned space flight, tasks arise that require operational processing.

To solve the problem of controlling and minimizing errors, it is proposed to use augmented reality technology in the helmet visor. Intelligent integrated technologies of virtual, augmented reality [1] and manipulation (IIT VDRM) may be able to become a foundation for the creation of intelligent human-machine interfaces of ergatic systems.

Thus, the purpose of the work was the development of promising technologies to achieve this goal:

1. Creation and use of the IIT VDRM for the implementation of "operator modes" of manipulation by astronauts over various objects during their operation, maintenance and repair.

2. Development and implementation of a method for achieving consistency of kinematics of actuators and control devices of robotic systems (RTS) of anthropomorphic type [3].

3. Study and use of the possibilities of creating an information system for registering the results of the use of RTS as a tool for ensuring orbital space flight [4].

References:

1. Smolin A.A., Zhdanov D.D., Potemin I.S., Mezhenin A.V., Bogatyrev V.A. Systems of virtual, augmented and mixed reality. - St. Petersburg: ITMO University, 2018. – 60 p.

2. Application of artificial intelligence technologies in the interaction of astronauts with robotic complexes in promising projects /Kharlamov M.M., Karpov A.A., Kryuchkov B.I., Kikina A.Yu., Dikarev V.A., Usov V.M. // Artificial intelligence: theoretical aspects, practical application: materials of the Donetsk International Scientific Round table. − Donetsk: GU "IPII", 2021. – pp. 114-119.

3. Chebotarev Yu.S., Dikarev V.A. About some areas of ensuring collaborative interaction of astronauts with robotic systems for manned space flights. //Proceedings of the International scientific and technical Conference "Extreme Robotics" (Proceedings of the International scientific and technological conference "Extreme robotics"). – 352 p. – 10.31776/ConfER.32.2021. – pp. 65-77.

4. Dikarev V.A., Chebotarev Yu.S. On the design of components of collaborative interaction of astronauts with robotic systems for manned space flights. /Plenary and selected reports of the Tenth International Aerospace Congress "IAC'2021" (August 26-31, 2021). – Moscow: RIA, 2021. – pp. 253-258.

7. Математические методы в аэрокосмической науке и технике

7. Mathematical methods in aerospace science and technology

Прогнозирование геометрии инжекционных каналов для термопластичных жидкостей с использованием глубокого обучения на основе вариационного автоэнкодера

Quijada Pioquinto Jose Gabriel, Куркин Е.И., Чертыковцева В.О.
Самарский университет, г. Samara, Россия

В данной работе разработан систематический метод, основанный на генеративной модели глубокого обучения. Данный метод используется для получения характеристик, представляющих собой обратное поле проницаемости жидкости в пористой среде, которое представляет собой геометрию инжекционных каналов для термопластичных жидкостей. Модель состоит из вариационного автоэнкодера и многослойного перцептрона. Вариационный автоэнкодера имеет функцию извлечения репрезентативных характеристик полей. Для определения минимально необходимого количества признаков вектора скрытого состояния использован метод главных компонент. В качестве набора выходных векторов многослойного перцептрона используются характеристики, получаемые из вариационного автоэнкодера, в то время, как входные данные определяются положениями входа и выхода расплава. В конце обучения многослойного перцептрона он присоединяется к декодеру для достижения прогнозирования геометрии каналов по векторам, указывающим положение входа и выхода расплава. Обучение нейронной сети проведено на выборке, состоящей из решений задач оптимизации формы каналов в квадратной проектной области с одним входом расплава и тремя выходами. Поле обратной проницаемости в каждом случае образуется в процессе топологической оптимизации с использованием эвристического алгоритма, который использует поле энергии потока в качестве чувствительности для обновления пористой среды. Основной целью является минимизация падения давления и энергии потока между входом и выходами. Алгоритм топологической оптимизации работает совместно с OpenFOAM, чтобы иметь возможность моделировать течение неньютоновской жидкости с температурно-зависимой вязкостью в пористой среде. Такие физические параметры впрыска, как температура твердой среды, температура жидкости, инжекционное давление, объемная доля пространства канала и желаемая скорость на выходе оставались постоянными для различных случаев. Построенная нейронная сеть показывает хорошую производительность и высокую точность прогноза формы каналов. Знания, полученные при разработке данной модели, будут использованы для создания модели, способной предсказывать оптимальные формы каналов для разных типов проектных областей, разного количества выходов и условий впрыска. Целью создания модели глубокого обучения в этой области является сокращение времени проектирования пресс-форм для литья под давлением, а также снижение объёма необходимых вычислений.

Исследование выполнено финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-79-10309.

Prediction of the geometry of injection channels for thermoplastic fluids through a deep learning model based on variational autoencoder

Quijada Pioquinto Jose Gabriel, Kurkin E.I., Chertykovtseva V.O.
Samara University, Samara, Russia

In this work, a systematic method based on a generative deep learning model was developed to extract characteristics representing the inverse field of the permeability of a fluid in a porous medium, which in turn represents the geometry of the injection channels of thermoplastic fluids. The model consists of a variational autoencoder network (VAE) and a multi-layer perceptron (MLP). The VAE

has the functionality of extracting the representative characteristics of the fields. The principal component analysis (PCA) technique was used to determine the minimum necessary number of features of the latent vector of the VAE. The characteristics extracted from the VAE are used as the set of output vectors of the MLP, while the input data is determined by the positions of the input of and outputs of the injection channels. At the end of the MLP training, it is attached to the decoder part of the VAE to achieve the prediction of the geometry of the channels from vectors indicating the position of the input and outputs. At the moment, the data used for the training of the model is delimited to a square design space, an injection point and 3 outputs. The field of the inverse of the permeability of each case is obtained by a topological optimization process using a heuristic algorithm, which uses the flow energy field as a sensitivity for the update of the porous medium, the objective is to reduce as much as possible the pressure and flow energy drop between the inlet and the outlets. The algorithm works in conjunction with OpenFOAM to be able to model the flow of a non-Newtonian fluid with temperature-dependent viscosity in a porous medium. For this model, the physical characteristics of injection were kept constant for the different cases: solid medium temperature, fluid temperature, injection pressure, volume fraction of the channel space and desired exit velocity. The trained model displays statistical metrics indicating good performance and generalization of the task. The knowledge acquired for the development of a model that can make the predictions mentioned above, will help to create a more robust model that is capable of predicting the optimal channels for different types of design spaces, different number of outputs and injection conditions. The purpose of generating a deep learning model in this area is to reduce the design time of injection molds, in addition to reducing computational requirements.

The study was financially supported by the Russian Science Foundation, project No. 22-79-10309.

Прогнозирование паводковых явлений на реке Зея с применением методов машинного обучения

Ухов П.А., Булакина М.Б., Крылов С.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Объектом исследования являются паводковые явления на реках Российской федерации, на примере наиболее подверженного паводкам региона Амура – бассейна реки Зея.

В работе предложена концепция и библиотека алгоритмов для формирования прогнозов гидрологической ситуации на реке Зея с использованием методов математического моделирования и машинного обучения на примере выбранной территории (участок реки Зея от водохранилища до г. Благовещенск.

Для прогнозирования уровней воды в районе гидропостов использовались технологии машинного обучения (нейронные сети на базе архитектур трансформеров), для математического моделирования и получения батиметрии рек применялись технологии и алгоритмы 3D графики на основе имеющихся данных. Получены метрики моделей прогнозирования уровней воды и работы ML алгоритмов. Собран датасет за период с 2008 по 2018 год с шагом в 3 часа, включающий данные погоды и уровней воды на гидропостах. Реализована возможность автоматизированного сбора и подготовки метеорологических данных, спутниковой информации и данных гидропостов. Проведена верификация алгоритма и разработанной модели на базе известных данных для участка р. Зея от поселка Белогорье до города Благовещенска.

Разработана библиотека и реализованы алгоритмы машинного обучения для предсказания уровней воды на целевых гидропостах. К алгоритмам подготовлена программная документация и методика испытаний. Приведены предложения по дальнейшему развитию проекта с целью уточнения исходных данных для прогнозирования и доработки алгоритмов.

Forecasting of flood events on the Zeya River using machine learning

Ukhov P.A., Bulakina M.B., Krylov S.S.
MAI, Moscow, Russia

The object of the study is flood phenomena on the rivers of the Russian Federation, using the example of the Amur region most prone to floods – the Zeya River basin.

The paper proposes a concept and a library of algorithms for generating forecasts of the hydrological situation on the Zeya River using mathematical modeling and machine learning methods on the example of the selected territory (the section of the Zeya River from the reservoir to Blagoveshchensk.

Machine learning technologies (neural networks based on transformer architectures) were used to predict water levels in the area of hydraulic posts, 3D graphics technologies and algorithms based on available data were used for mathematical modeling and obtaining river bathymetry. Metrics of models for predicting water levels and the operation of ML algorithms are obtained. A dataset has been collected for the period from 2008 to 2018 in 3-hour increments, including weather data and water levels at hydro posts. The possibility of automated collection and preparation of meteorological data, satellite information and hydropost data has been implemented. Verification of the algorithm and the developed model on the basis of known data for the section R. Zea from the village of Belogorye to the city of Blagoveshchensk.

A library has been developed and machine learning algorithms have been implemented to predict water levels at target hydraulic stations. Software documentation and test methods have been prepared for the algorithms. The proposals for further development of the project are presented in order to clarify the initial data for forecasting and refinement of algorithms.

Об алгоритме исследования орбитальной устойчивости периодических движений тяжелого твердого тела с неподвижной точкой в случае Бобылева-Стеклова

Бардин Б.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается задача об орбитальной устойчивости периодических движений тяжелого твердого тела с неподвижной точкой. Предполагается, что геометрия масс тела соответствует случаю частной интегрируемости Бобылева-Стеклова, т.е. два главных момента инерции тела, вычисленные для неподвижной точки, находятся в отношении 1:2, а центр масс тела лежит на главной оси инерции, отвечающей наибольшему из этих моментов инерции. В этом случае существует известное частное решение, описывающее периодические движения твердого тела [1,2]. Это решение можно получить в явном виде через эллиптические функции Якоби.

В данной работе построена нелинейная замена переменных, позволяющая ввести локальные координаты в окрестности указанных периодических движений и получить уравнения возмущенного движения в явной аналитической форме. Построение данной замены переменных позволило свести задачу об орбитальной устойчивости исследуемых периодических движений к задаче об устойчивости по Ляпунову положения равновесия периодической гамильтоновой системы с одной степенью свободы. Для решения последней задачи применяются хорошо развитые методы и конструктивные алгоритмы теории устойчивости гамильтоновых систем, основанные на методе нормальных форм и теории КАМ. Результаты исследования представлены в виде диаграмм устойчивости в плоскости параметров задачи.

Исследование выполнено в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-21-00729).

Литература:

1. Бобылев Д.К. Об одном частном решении дифференциальных уравнений вращения тяжелого твердого тела вокруг неподвижной точки – Тр. Отд. физ. наук О-ва любителей естествознания. 1896. Т. 8, Вып.2. С. 21–25.

2. Стеклов В. А. Один случай движения тяжелого твердого тела, имеющего неподвижную точку – Тр. Отд. физ. наук О-ва любителей естествознания. 1896. Т. 8, Вып.2. С. 19–21.

On an algorithm for studying the orbital stability of periodic motions of a heavy rigid body with a fixed point in the case of Bobylev-Steklov

Bardin B.S.
MAI, Moscow, Russia

The problem of orbital stability of periodic motions of a heavy rigid body with a fixed point is considered. It is assumed that the geometry of body masses corresponds to the case of partial integrability of Bobylev-Steklov, i.e. two principal moments of inertia of the body, calculated for a fixed point, are in a ratio of 1:2, and the center of mass of the body lies on the principal axis of inertia corresponding to the largest of these inertia moments. In this case, there is a well-known particular solution that describes the periodic motions of a rigid body [1,2]. This solution can be obtained explicitly in terms of the Jacobi elliptic functions.

In this paper a nonlinear change of variables is constructed, which allows to introduce local coordinates in the vicinity of the above periodic motions and obtain the equations of perturbed motion in an explicit analytical form. The construction of this change of variables made it possible to reduce the problem of the orbital stability of the periodic motions mentioned to the problem of the Lyapunov stability of an equilibrium position of a periodic Hamiltonian system with one degree of freedom. To solve the last problem, well-developed methods and constructive algorithms of the theory of stability of Hamiltonian systems based on the method of normal forms and the theory of KAM are used. The results of the study are presented in the form of stability diagrams in the plane of the problem parameters.

The study was carried out at the Moscow Aviation Institute (National Research University) with a grant from the Russian Science Foundation (project No. 22-21-00729).

References:

1. Bobylev, D.N., On a Particular Solution of the Differential Equations of a Heavy Rigid Body Rotation Around of a Fixed Point – Trudy Fiz. Obshch. Lyubitelei. Yestestv., 1896, vol. 8, pp. 21–25 (in Russian).

2. Steklov, V.A., A Case of Motion of a Rigid Body with a Fixed Point – Trudy Fiz. Obshch. Lyubitelei. Yestestv., 1896, vol. 8, pp. 19–21. (in Russian)

Стабилизация произвольного положения центра масс твёрдого тела с помощью вибраций точки подвеса

Беличенко М.В.
МАИ, г. Москва, Россия

В работе рассматривается движение твёрдого тела с вибрирующей точкой подвеса. Исследуется случай геометрии масс тела, при котором центр масс тела находится на главной оси инерции для точки подвеса. Предполагается, что точка подвеса совершает произвольное периодическое движение в трёхмерном пространстве малой амплитуды и большой частоты.

В приближенной автономной задаче вибрации точки подвеса приводят к появлению дополнительного потенциального поля – вибрационного потенциала. Этот потенциал зависит от шести параметров движения точки подвеса – средних значений произведений проекций скорости точки подвеса. В данной работе показано, что с помощью пространственных поворотов поступательно движущейся системы координат с началом в точке подвеса можно добиться равенства нулю трёх средних значений смешанных произведений скоростей.

Также было отмечено, что в случае равных интенсивностей вибраций вдоль трёх осей координат вибрационный потенциал является константой, и, вычитая её, можно обнулить ещё один вибрационный параметр. Таким образом получено, что произвольный случай движения точки подвеса эквивалентен сумме двух вибрационных потенциальных полей, отвечающих движению точки вдоль двух перпендикулярных прямых.

С помощью такого представления вибрационного потенциала было получено, что стабилизировать произвольное положение твёрдого тела можно за счёт вибраций точки подвеса вдоль наклонной прямой, лежащей в вертикальной плоскости, содержащей требуемое положение равновесия. Получены параметры движения точки подвеса, стабилизирующие

заданное положение центра масс твёрдого тела. При этом заданное положение равновесия становится устойчиво по отношению к пространственным возмущениям.

Исследование выполнено в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-11-00116).

Stabilization of the rigid body mass center arbitrary position by the suspension point vibrations

Belichenko M.V.
MAI, Moscow, Russia

The paper considers the motion of a rigid body with a vibrating suspension point. The case of body mass geometry, in which the body mass center is located on the principal axis of inertia for the suspension point, is investigated. It is assumed that the suspension point makes an arbitrary periodic motion in three-dimensional space of small amplitude and high frequency.

In the approximate autonomous problem, the vibrations of the suspension point lead to the appearance of an additional potential field – the vibrational potential. This potential depends on six parameters of the suspension point motion – the average values of the products of velocity projections of the suspension point. In this paper it is shown that by using the spatial rotations of the translationally moving coordinate system with the origin in the suspension point, the three average values of the mixed products of velocities can be equal to zero.

It was also noted that in the case of equal vibration intensities along the three coordinate axes the vibrational potential is a constant, and by subtracting it one more vibrational parameter can be zeroed out. Thus, it was obtained that the arbitrary case of the suspension point motion is equivalent to the sum of two vibrational potential fields corresponding to the point motion along two perpendicular lines.

Using this representation of the vibration potential, it was obtained that it is possible to stabilize an arbitrary position of a rigid body by vibrating the suspension point along an inclined straight line lying in the vertical plane containing the desired equilibrium position. The parameters for the suspension point motion, which stabilize the desired body mass center position, are obtained. In this case, the specified equilibrium position becomes stable with respect to spatial perturbations.

The research was carried out at the Moscow Aviation Institute (national research University) with a grant from the Russian Science Foundation (project 19-11-0116).

О движении космического аппарата с солнечным парусом вдоль троса, закрепленного на двух гелиоцентрических космических станциях

Васькова В.С., Родников А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Для организации транспортного сообщения между двумя долговременными космическими станциями (КС), двигающимися по одной гелиоцентрической орбите, можно использовать трос с закрепленными на них концами. Энергонезависимое перемещение вдоль троса можно осуществлять с помощью космического аппарата (КА), оснащенного солнечным парусом. В настоящем сообщении динамика такого КА изучается в рамках математической модели, предполагающей трос идеальной неудерживающей связью, ранее названной леерной связью [1]. При этом солнечный парус предполагается плоской идеально отражающей пластиной, КА считается достаточно легким, чтобы не оказывать влияния на движение КС, а движение КА относительно КС рассматривается на таких промежутках времени, когда неинерциальность орбитальной системы отсчета несущественна.

Уравнения движения КА относительно КС с учетом сделанных предположений могут быть записаны в безразмерной форме как дифференциальные уравнения с множителями Лагранжа. Вопрос об интегрируемости этих уравнений в общем трехмерном случае остается открытым, однако, они допускают частный интеграл, соответствующий движениям в плоскости орбиты КС, когда относительное движение КА ограниченно некоторым эллипсом. Движение по границе этого эллипса может быть описано одним дифференциальным уравнением второго

порядка, получаемым редукцией общих уравнений движения, дополненным алгебраическим условием, гарантирующим движение именно по границе эллипса.

В случае, когда положение нормали к солнечному парусу неизменно во все время движения или же зависит только от положения КА на границе эллипса, это уравнение допускает интеграл энергии, и задача становится интегрируемой. В результате удается решить такие задачи, как

• Поиск всех пар точек на границе эллипса, между которыми возможно перемещение с неизменно направленной нормалью к парусу и нулевыми начальной и конечной скоростями;

• Поиск оптимальной длины троса для наискорейшего перемещения между КС при парусе, перпендикулярном солнечным лучам;

• Поиск направления нормали к парусу в зависимости от положения КА на границе эллипса, обеспечивающего наиболее быстрое перемещение между КС с нулевыми начальной и конечной скоростями, а также вычисление времени такого перемещения в зависимости от длины троса.

Литература:

1. А. В. Родников, П. С. Красильников, “О пространственных движениях орбитальной леерной связки”, Нелинейная динам., 13:4 (2017), 505–518.

On a Sailed Spacecraft Motion Along a Handrail Fixed to two Heliocentric Space Stations

Vaskova V.S., Rodnikov A.V.
MAI, Moscow, Russia

To realize a fuel-free transport communication between two long-term heliocentric space stations (HSS) one can use a tether jointing them and a light spacecraft equipped with a solar sail and capable to move along this tether. In this paper, we study the spacecraft dynamics assuming that the tether realizes an ideal unilateral constraint called ‘the handrail constraint’ [1], the tether is a perfect reflecting plane, HSS are sufficiently close to each other and describe one heliocentric orbit, the spacecraft is so light that its motion doesn’t affect HSS motion and the transportation time is so small that non-inertiality of the orbital frame of reference can be neglected.

Taking into account assumptions be made, one can write the spacecraft equations of motion in a dimensionless form as differential equations with Lagrange’s multipliers. Leaving open the question of these equations integrability in the general spacial case, one can check that its have an integral manifold corresponding to the spacecraft motions in the plane of HSS orbit. Evidently, these motions are restricted by some ellipse with foci in HSS. Using the equations be written one can reduce the spacecraft equations of motion along the ellipse boundary to one second-order differential equation completed by some algebraic condition that excludes motions inside the ellipse.

If the normal to the solar sail remains invariable with respect to the solar rays during the motion or its direction depends only on the spacecraft current location on the ellipse boundary, then this equation is integrable as it has integral of energy. Using this fact, one can solve the following problems.

Searching for all pairs of points in the ellipse boundary between which the motion of the spacecraft with the invariable direction of the normal to the solar sail and zero initial and final velocities is possible.

Searching for the tether optimal length for the fastest displacement of the spacecraft between HSS if the sail is orthogonal to the solar rays

Searching for the solar sail normal direction as function of the spacecraft location for the fastest displacement between HSS with zero initial and final velocities, as well as this displacement time computation depending on the tether length

References:

1. Alexander V. Rodnikov & Pavel S. Krasilnikov. On spacial motions of an orbital tethered system, Rus. J. Nonlin. Dyn., 2017, vol. 13, no. 4, pp. 505–518 (Russian).

Нелинейный анализ устойчивости центральной конфигурации в плоской круговой ограниченной задаче четырех тел при резонансах второго и третьего порядка

Волков Е.В., Бардин Б.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается задача четырех тел в следующей ограниченной постановке. Тело малой массы движется под действием сил гравитационного притяжения трёх тел, взаимодействующих друг с другом по закону всемирного тяготения. Предполагается, что тела, притягивающие малое тело расположены в одной плоскости, движутся по круговым орбитам и образуют равносторонний треугольник (лагранжеву конфигурацию), которая устойчива по Ляпунову. Уравнения движения тела малой массы допускают частные решения, описывающие положения его относительного равновесия во вращающейся вместе с притягивающими телами системе координат. В абсолютной системе координат этим частным решениям соответствует такие движения всех четырех тел, при котором они находятся в одной плоскости и образуют конфигурацию неизменной формы и размеров, так называемую центральную конфигурацию.

Линейный анализ устойчивости указанных центральных конфигураций ограниченной задачи четырёх тел ранее был проведён в работах [1, 2]. В работе [3] исследована их устойчивость по Ляпунову при равных массах двух притягивающих тел.

В данной работе при помощи метода нормальных форм и теории КАМ был проведен нелинейный анализ устойчивости центральных конфигураций по Ляпунову для параметров задачи, отвечающих резонансам второго и третьего порядка. Исследование выполнялось по следующей методике. Функция Гамильтона уравнений возмущенного движения была приведена к нормальной форме до членов третьей степени включительно в случае резонанса третьего порядка и до членов четвертой степени включительно при резонансе второго порядка. На основании анализа коэффициентов нормальной формы, применяя известные достаточные условия устойчивости и неустойчивости, было установлено, что в случае резонанса третьего порядка все рассмотренные центральные конфигурации будут неустойчивыми. В случае резонанса второго порядка существуют как неустойчивые, так и устойчивые по Ляпунову центральные конфигурации. Результаты проведенного исследования были представлены в виде диаграмм устойчивости.

Исследование выполнено в Московском Авиационном Институте (Национальном Исследовательском Университете) за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-11-00116).

Литература:

1. Bardin B.S., Volkov E.V., Analysis of Linear Stability and Bifurcations of Central Configurations in the Planar Restricted Circular Four-Body Problem. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1191, 2021.

2. Bardin B.S., Volkov E.V., On bifurcations and stability of central configurations in the planar circular restricted four-body problem. J. Phys.: Conference Series 1959, 2021.

3. Bardin B.S., Volkov E.V., Stability Study of a Relative Equilibrium in the Planar Circular Restricted Four-Body Problem. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 927, 2020.

Nonlinear Stability Analysis of a Central Configuration in a Planar Circular Restricted Four-Body Problem in Second- and Third-Order Resonances

Volkov E.V., Bardin B.S.
MAI, Moscow, Russia

The four-body problem is considered in the following limited formulation. A body of small mass moves under the gravitational attraction of three bodies interacting with each other according to the law of universal gravitation. It is assumed that the bodies attracting a small body are located in the same plane, move in circular orbits and form an equilateral triangle (Lagrangian configuration), which is stable according to Lyapunov. The equations of motion of a body of small mass admit particular solutions that describe the positions of its relative equilibrium in a coordinate system

rotating together with the attracting bodies. In the absolute coordinate system, these particular solutions correspond to such movements of all four bodies, in which they are in the same plane and form a configuration of unchanged shape and size, the so-called central configuration.

A linear analysis of the stability of these central configurations of the restricted four-body problem was previously carried out in [1, 2]. In [3], their Lyapunov stability was studied for equal masses of two attracting bodies.

In this paper, using the method of normal forms and KAM theory, a nonlinear analysis of the stability of the central configurations according to Lyapunov was carried out for the parameters of the problem corresponding to the resonances of the second and third order. The study was carried out according to the following methodology. The Hamilton function of the equations of perturbed motion was reduced to normal form up to terms of the third degree inclusive in the case of a third-order resonance and up to terms of the fourth degree inclusive in the case of a second-order resonance. Based on the analysis of the coefficients of the normal form, applying the known sufficient conditions of stability and instability, it was found that in the case of a third-order resonance, all the considered central configurations will be unstable. In the case of a second-order resonance, there are both unstable and Lyapunov-stable central configurations. The results of the study were presented in the form of stability diagrams.

This work was supported by the grant of the Russian Scientific Foundation (project No. 19-11-00116) at the Moscow Aviation Institute (National Research University).

References:

1. Bardin B.S., Volkov E.V., Analysis of Linear Stability and Bifurcations of Central Configurations in the Planar Restricted Circular Four-Body Problem. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1191, 2021.

2. Bardin B.S., Volkov E.V., On bifurcations and stability of central configurations in the planar circular restricted four-body problem. J. Phys.: Conference Series 1959, 2021.

3. Bardin B.S., Volkov E.V., Stability Study of a Relative Equilibrium in the Planar Circular Restricted Four-Body Problem. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 927, 2020.

Применение согласованных фильтров в радиолокационных и связных каналах передачи и приема информации

Грибанов А.С., Матвеев А.М.
МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается модель кодирования/декодирования и перспективы повышения помехоустойчивости за счет применения двоичной импульсной последовательности, где частота заполнения импульсов промодулирована линейно (ЛЧМ) или нелинейно (НЛЧМ).

Использование сигналов с нелинейной частотной модуляцией имеет ряд явных преимуществ. Обработка такого сигнала не требует амплитудного взвешивания для подавления боковых лепестков по времени, поскольку параметры частотной модуляции подбираются таким образом, чтобы минимизировать боковые лепестки функции сжатия.

Применительно к РЛС помимо стандартизованных транспортных протоколов обмена информацией, таких как МКИО, RS 485/422/232, SRIO, Ethernet, необходимых для организации межмодульного управления в структуре трактов РЛС и внешнего управления и передачи радиолокационной информации от РЛС по цепочке потребителей, важную роль играют составляемые разработчиками информационные протоколы взаимодействия, определяющие форматы, виды и содержание команд. Такого рода протоколы основаны как правило на двоичной логике. При этом условные «1» и «0» в различных транспортных протоколах (пример МКИО и RS485) кодируются различными сигнальными параметрами, учитывающими в том числе устойчивость к помехам.

В докладе предлагается в качестве универсального информационного алфавита (не только двоичного, и не только символьного) обратится к теме эффективного разделения сигналов посредством согласованной фильтрации. В этой связи авторами показаны возможности использования как сигналов одного вида частотной модуляции с различиями в девиациях

частоты (пример ЛЧМ-модулированные импульсы с двумя и/или более полосами частот), так и сигналов с различными видами частотных (ЛЧМ и НЛЧМ) или фазовых модуляций при остальных одинаковых сигнальных параметрах (временных, частотных, амплитудных) для эффективного разделения и опознания сигналов после согласованных фильтров. Подобного рода алфавит, транспортная роль в котором отводится частотно- либо фазо-модулированным сигналам, за счет высокой помехоустойчивости вследствие широкополосности последних может стать эффективным в достаточно сложной помеховой обстановке работы бортовых РЛС.

Application of matched filters in radar and communication channels for transmitting and receiving information

Gribanov A.S., Matveev A.M.
MAI, Moscow, Russia

The coding/decoding model and the prospects of increasing noise immunity due to the use of a binary pulse sequence, where the pulse filling frequency is modulated linearly (LCHM) or non-linearly (NLCHM), are considered.

The use of signals with nonlinear frequency modulation has a number of obvious advantages. Processing such a signal does not require amplitude weighting to suppress the side lobes in time, since the frequency modulation parameters are selected in such a way as to minimize the side lobes of the compression function as an output of a matched filter.

With regard to radar, in addition to standardized transport protocols for information exchange, such as MCIO, RS 485/422/232, SRIO, Ethernet, which are necessary for the organization of intermodule control in the structure of radar paths and external control and transmission of radar information from the radar along the consumer chain, an important role is played by information interaction protocols compiled by developers that determine the formats, types and content of commands. Such protocols are usually based on binary logic. At the same time, the conditional "1" and "0" in various transport protocols (for example, MCIO and RS485) are encoded by various signal parameters, taking into account, among other things, resistance to interference.

The report proposes to address the topic of effective signal separation through consistent filtering as a universal information alphabet (not only binary, and not only symbolic). In this regard, the authors show the possibilities of using both signals of the same type of frequency modulation with differences in frequency deviations (for example, LFM-modulated pulses with two and/or more frequency bands), and signals with different types of frequency (LFM and NLFM) or phase modulations with the remaining identical signal parameters (time, frequency, amplitude) for effective separation and identification of signals after matched filters. This kind of alphabet, in which the transport role is assigned to frequency- or phase-modulated signals, due to the high noise immunity due to the broadband of the latter, can become effective in a rather complex interference environment of onboard radars.

Газодинамическое исследование выходных устройств для реализации НТГДМ технологии

Григоровский В.В., Коваленко А.С., Зубко А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

В авиационной технике решение проблемы надёжности и долговечности машин и механизмов, экономного использования материалов, энергии и трудовых ресурсов имеют особое значение. Все эти проблемные задачи тесно связаны с обеспечением эффективной защиты поверхности деталей и конструкций от коррозии, эрозии и изнашивания.

Сегодня разработано множество способов нанесения покрытий. Интенсивное развитие получают наукоёмкие газотермические методы. Однако, они обладают рядом существенных недостатков, связанных, прежде всего, с использованием высокотемпературной газовой струи, которой характерна высокая химическая агрессивность при использовании дешевых технических газов (воздух, азот, CO2).

Решение этой задачи возможно только в случае устранения в высокотемпературном газоносителе межфазного массообменна.

Для расширения возможностей газодинамических технологий нанесения покрытий в МАИ в 1991 году был запатентован метод с незначительным подогревом газа-носителя, получивший в дальнейшем наименование «Низкотемпературного газодинамического метода» (НТГДМ).

Сущность НТГДМ заключается в том, что покрытия синтезируются в результате соударения высокоскоростных (сверхзвуковых, M>1) гетерогенных потоков с твердой поверхностью.

Важным моментом в реализации метода является получение скорости потока в несколько раз превышающие число Маха, что достигается с помощью конфузорно-диффузорного сопла. Так как защитный материал нужно наносить на детали разнообразной формы и размеров, невозможно использовать унифицированные сопла.

В докладе рассматриваются существующие сопла, применяемые для реализации НТГДМ технологии и проводится газодинамический расчёт некоторых из них методом конечных объёмов с применением программных пакетов CFD. С последующей верификацией расчётной методологии и использованием её для разработки сопел специальных форм.

Литература:

1. Никитин П.В., Дикун Ю.В., Фролов Ю.П. «Способ получения покрытий». Патент RU № 2082823 от 17.06.91.

2. «Порошковая металлургия и напыленные покрытия». Под ред. Б.С. Митина. - М.: Металлургия, 1987. 791 с.

3. Никитин П.В. «Тепловая защита» Учебник Высшей школы. МАИ, 2006г., 510 с.

Gas dynamic research of nozzles for LTGDM technology realization

Grigorovskii V.V., Kovalenko A.S., Zubko A.A.

MAI, Moscow, Russia

In aviation technique, the solution of the problem of reliability and durability of machines and mechanisms, the economical use of materials, energy and labor resources are of particular importance. All these problematic tasks are closely related to providing effective protection of the surface of parts and structures from corrosion, erosion and wear.

Today, many coating methods was developed. High-tech gas-thermal methods are being intensively developed. However, they have a number of significant disadvantages associated primarily with the use of a high-temperature gas jet, which is characterized by high chemical aggressiveness when using cheap technical gases (air, nitrogen, CO2).

The solution of this problem is possible only if the interfacial mass transfer in the high-temperature carrier gas is eliminated.

To expand the possibilities of gas-dynamic coating technologies, in 1991 MAI patented a method with a slight heating of the carrier gas, which later received the name "Low-temperature gas-dynamic method" (LTGDM).

The essence of LTGDM lies in the fact that coatings are synthesized because of the collision of high-speed (supersonic, M>1) heterogeneous flows with a solid surface.

An important point in the implementation of the method is to obtain a flow rate several times higher than the Mach number, which is achieved using a converging-diverging nozzle. Since the protective material must be applied to parts of various shapes and sizes, it is impossible to use unified nozzle.

The report discusses the existing nozzles used to implement the LTGDM technology and performs a gas-dynamic calculation of some of them by the finite volume method using CFD software packages. With the subsequent verification of the calculation methodology and its use for the development of nozzles of special shapes.

Численное моделирование взаимодействия высокоэнергетических протонов и ионов с веществом для разработки дозиметрических фантомов

Григорьева А.А.
ТПУ, г. Томск, Россия

Космическая радиационная среда состоит из потоков заряженных частиц, протонов и полностью ионизированных ядер всех элементов, а также вторичного фотонного излучения [1]. Источниками космического излучения являются солнечные и галактические космические лучи. Энергетический спектр такого излучения находится в диапазоне от нескольких кэВ до сотен ГэВ [1].

Излучение от заряженных частиц высоких энергий вносит основной вклад в дозу от воздействия излучения на человека, находящегося в условиях открытого космоса. Воздействие радиации является одной из основных проблем при освоении людьми воздушного околоземного пространства и космоса [2, 3]. Влияние космического излучения может стать причиной образования у людей радиационно-индуцированных опухолей в будущем. В связи с чем проведение исследований для оценки дозовых нагрузок на человека в условиях космического излучения являются актуальными.

Для количественной оценки поглощенной дозы от космического излучения могут использоваться искусственные модели людей, так называемые дозиметрические фантомы. Ранее авторами [4, 5] была предложена и апробирована методика для изготовления дозиметрических фантомов человека при помощи технологий трехмерной печати для задач радиотерапии.

В рамках данного исследования для подбора материалов, пригодных для устройств трехмерной печати и имитирующих ткани человека в отношении их взаимодействия с заряженными частицами высоких энергий было проведено численное моделирование в программном инструментарии Geant4 [6] методом Монте-Карло. Был рассмотрен характер взаимодействия излучения с тканями человека и полимерными материалами, по результатам которого были получены глубинные распределения доз от протонов и ионов высоких энергий в веществах, соответствующим реальным тканям человека и в материалах, пригодных для методов трехмерной печати. На основании полученных результатов численного моделирования был осуществлен выбор материалов для изготовления методом послойного наплавления дозиметрического фантома.

Результаты данного исследования будут использованы при разработке дозиметрического фантома для проведения экспериментальной оценки воздействия космического излучения на человека.

Работа поддержана грантом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения 075-15-2022-620, проект № 26.2022.1.2.

Литература:

1. Nelson G. A. Space radiation and human exposures, a primer //Radiation research. – 2016. – Т. 185. – №. 4. – С. 349-358.

2. Blakely E. A. Biological effects of cosmic radiation: deterministic and stochastic //Health physics. – 2000. – Т. 79. – №. 5. – С. 495-506.

3. Sigurdson A. J., Ron E. Cosmic radiation exposure and cancer risk among flight crew //Cancer Investigation. – 2004. – Т. 22. – №. 5. – С. 743-761.

4. Stuchebrov S. et al. PO-1584 Development of the patient-specific phantom of the human arm part using 3D printing //Radiotherapy and Oncology. – 2021. – Т. 161. – С. S1309-S1310.

5. Stuchebrov S. G. et al. Making a copy of conventional anthropomorphic phantom section by 3D printing //European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. – 2020. – Т. 47. – №. S1. – С. 313-314.

6. Agostinelli S. et al. GEANT4 – a simulation toolkit //Nuclear instruments and methods in physics research section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2003. – Т. 506. – №. 3. – С. 250-303.

Numerical simulation of the high-energy protons and ions interaction with matter for the dosimetric phantoms creation

Grigorieva A.A.
TPU, Tomsk, Russia

Space radiation consists of streams of charged particles, protons and fully ionized nuclei of all elements, as well as a secondary photon incident [1]. The sources of cosmic radiation are solar and galactic cosmic rays. The energy spectrum of such radiation is in the range from several keV to hundreds of GeV [1].

High-energy charged particles radiation has the main contribution to the dose values for person in outer space. The impact of radiation is one of the main problems in the exploration of near-Earth air space and outer space by people [2, 3]. Possible probable consequences may cause the occurrence of radiation-induced malignancies in the future. In this connection, conducting research to assess dose loads on a person under conditions of cosmic radiation is relevant.

To quantify the absorbed dose from cosmic radiation, man-made models of people, the so-called dosimetric phantoms, can be used. Previously, the authors [4, 5] proposed and tested a technique for manufacturing dosimetric human phantoms using 3D printing technologies for radiotherapy tasks.

Within the framework of this study, in order to select materials suitable for 3D printing devices and imitating human tissues with respect to their interaction with high-energy charged particles, numerical simulation was carried out in the Geant4 toolkit [6] using the Monte Carlo method. The nature of the interaction of radiation with human tissues and polymeric materials was considered, as a result of which the protons and high-energy ions depth dose distributions in substances corresponding to real human tissues and in materials suitable for three-dimensional printing methods were obtained. Based on the numerical simulation data, the materials appropriate for the creation of a dosimetric phantom by fused deposition modeling was chosen.

The results of this study will be used in the development of a dosimetric phantom for an experimental assessment of the impact of cosmic radiation on humans.

The work is supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within agreement 075-15-2022-620, project No. MK-26.2022.1.2.

References:

1. Nelson G. A. Space radiation and human exposures, a primer //Radiation research. – 2016. – V. 185. – no. 4. – P. 349-358.

2. Blakely E. A. Biological effects of cosmic radiation: deterministic and stochastic //Health physics. – 2000. – V. 79. – no. 5. – P. 495-506.

3. Sigurdson A. J., Ron E. Cosmic radiation exposure and cancer risk among flight crew //Cancer Investigation. – 2004. – V. 22. – no. 5. – P. 743-761.

4. Stuchebrov S. et al. PO-1584 Development of the patient-specific phantom of the human arm part using 3D printing //Radiotherapy and Oncology. – 2021. – V. 161. – P. S1309-S1310.

5. Stuchebrov S. G. et al. Making a copy of conventional anthropomorphic phantom section by 3D printing //European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. – 2020. – V. 47. – no. S1. – P. 313-314.

6. Agostinelli S. et al. GEANT4 – a simulation toolkit //Nuclear instruments and methods in physics research section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2003. – V. 506. – no. 3. – P. 250-303.

Разработка и применение оптимальных обобщенных моделей долговечности для решения задач прогнозирования остаточного ресурса композитов

[1]Гусев Е.Л., [2]Бакулин В.Н.
[1]ИПНГ ФИЦ "ЯНЦ СО РАН", г. Якутск, Россия
[2]ИПРИМ РАН, г. Москва, Россия

В последние десятилетия полимерные композиционные материалы (ПКМ), покрытия и конструкции из них являются неотъемлемой частью современной техники в таких областях, определяющих научно-технический прогресс, как высокоскоростной транспорт, авиа- и космическая техника, судостроение, нефтяная и газовая промышленность и др. При выборе

материала для конкретного использования в промышленности, в строительстве, на транспорте, из большого количества возможных вариантов подбирается такой состав, который обеспечит сочетание необходимых показателей. Важнейшим преимуществом материала становится его способность как можно дольше сохранять свою работоспособность, то есть, противостоять старению – совокупности физико-химических обратимых и необратимых превращений под воздействием экстремальных факторов внешней среды (температуры, влажности, солнечной радиации, механических напряжений и др.) [1-3]. Применение ПКМ в авиационной и космической технике делает еще более актуальными исследования стойкости полимеров к излучению. Эффективным фактором- активатором старения является проникающая радиация, которая в отличие от световой способна инициировать превращения во всем объеме полимера.

Для высокоточного прогнозирования определяющих характеристик композитов при воздействии экстремальных факторов необходимо разработать эффективные и надежные соотношения между кинетическими параметрами физико-химических процессов (ФХП), происходящих на молекулярном уровне и макросвойствами материалов, определяющи¬ми их эксплуатационную пригодность. Эти вопросы составляют важную и актуальную научную проблему, стоящую на пути создания обоснованных подходов к прогнозиро¬ванию изменения свойств ПКМ при их хранении и эксплуатации.

Проведено исследование проблемы разработки эффективных методов прогнозирования остаточного ресурса композитов в экстремальных условиях внешней среды. Сформулированные проблемы исследуются в рамках уточненных вариационных постановок обратных задач прогнозирования на основе современных положений кинетической теории прочности. Разработана методология согласования параметров математических и физических моделей на микро- и макроуровнях, которая позволила решить задачу восстановления параметров физико-химических процессов, происходящих на микроуровне, и приводящих к деструктивным изменениям в композитах и ухудшению их характеристик с течением времени. Объективная оценка параметров деструктивных химических реакций в композитах на основе проведенных физических экспериментов позволила построить эффективные обобщенные модели долговечности оптимальной структуры и сложности на долгосрочный период, а также провести конструктивный анализ влияния отдельных экстремальных факторов на долговечность.

Литература:

1. Gusev E.L., Bakulin V.N. Variation formulations of inverse problems in forecastting the residual life of composites //Doklady Physics.– 2018.–V. 63, N 9.–P. 388-392.

2. Gusev E.L., Bakulin V.N. Optimal control under a decrease in the thermal-field intensity based on selection of the heterogeneous –construction structure in the variational formulation/ / Doklady physics, 2018, v. 63, N 5, p. 213-217

3. Gusev E.L., Bakulin V.N. The use of generalized models in the variational formulation of the prediction tasks defining characteristics of composite materials // Journal of Physics: Conference Series. Collection of Materials of the VIII International Conference. 2020. Vol. 1431. Pp. 012017.

Development and application of optimal generalized models durability for solving forecasting problems residual resource of composites

[1]Gusev E.L., [2]Bakulin V.N.

[1]IOGP, Yakutsk, Russia

[2]IAM RAS, Moscow, Russia

In recent decades, polymer composite materials (PCM), coatings and structures made of them have been an integral part of modern technology in such areas that determine scientific and technological progress as high-speed transport, aviation and space technology, shipbuilding, oil and gas industry, etc. When choosing a material for specific use in industry, construction, transport, from a large number of possible options, such a composition is selected that will provide a combination of the necessary indi-cators. The most important advantage of the material is its ability to maintain its operability for as long as possible, that is, to resist aging – a combination of physics-chemical

reversible and irreversible transformations under the influence of extreme environmental factors (temperature, humidity, solar radiation, mechanical stresses, etc.) [1-3]. The use of PCM in aviation and space technology makes research even more relevant. An effective factor- activator of aging is penetrating radiation, which, un-like light, is able to initiate transformations in the entire volume of the polymer.

For high-precision prediction of the defining characteristics of composites under the influence of extreme factors, it is necessary to develop effective and reliable relationships between the kinetic parameters of physics-chemical processes (FCP) occurring at the molecular level and the macro properties of materials that determine their operational suitability. These issues constitute an important and urgent scientific problem that stands in the way of creating sound approaches to predicting changes in the properties of PCM during their storage and operation.

The problem of developing effective methods for predicting the residual life of composites in extreme environmental conditions has been investigated. The formulated problems are investigated within the framework of refined variational formulations of inverse forecasting problems based on modern provisions of the kinetic theory of strength. A methodology for matching the parameters of mathematical and physical models at the micro- and macro levels has been developed, which allowed solving the problem of restoring the parameters of physics -chemical processes occurring at the micro level and leading to destructive changes in composites and deterioration of their characteristics over time. An objective assessment of the parameters of destructive chemical reactions in composites based on the conducted physical experiments made it possible to construct effective generalized models of the durability of the optimal structure and complexity for the long term, as well as to conduct a con-structive analysis of the influence of individual extreme factors on durability.

References:

1. Gusev E.L., Bakulin V.N. Variation formulations of inverse problems in forecastting the residual life of composites //Doklady Physics.– 2018.–V. 63, N 9.–P. 388-392.

2. Gusev E.L., Bakulin V.N. Optimal control under a decrease in the thermal-field intensity based on selection of the heterogeneous –construction structure in the variational formulation/ / Doklady physics, 2018, v. 63, N 5, p. 213-217

3. Gusev E.L., Bakulin V.N. The use of generalized models in the variational formulation of the prediction tasks defining characteristics of composite materials // Journal of Physics: Conference Series. Collection of Materials of the VIII International Conference. 2020. Vol. 1431. Pp. 012017.

Численное моделирование поведения трехслойной панели с сотовым заполнителем при наличии повреждений

[1]Дедова Д.В., [2]Медведский А.Л., [3]Мартиросов М.И.
[1]ПАО «Корпорация «Иркут», г. Москва, Россия
[2]ЦАГИ, г. Жуковский, Россия
[3]МАИ, г. Москва, Россия

Трехслойные панели с сотовыми заполнителями различных марок нашли широкое практическое применение в высокотехнологичных отраслях современной промышленности, в том числе и в авиационной промышленности. Такие элементы конструкции получили распространение благодаря малому весу, высокой удельной прочности и жесткости, устойчивости при сжимающих нагрузках, хорошим тепло- и звукопоглощающим свойствам, высокой технологичности.

В результате внешних воздействий при эксплуатации и в процессе производства трехслойных панелей могут возникать дефекты (повреждения), которые оказывают значительное влияние на остаточную прочность и несущую способность готового изделия.

В работе проводится численное моделирование, основанное на методе конечных элементов (МКЭ), поведения плоской трехслойной панели прямоугольной формы с заполнителями различных марок. Считается, что рассматриваемая панель имеет дефекты типа межслоевых расслоений эллиптической или круговой формы между монослоями композитных обшивок (несущих слоев) панели и между монослоем и заполнителем. В качестве внешней нагрузки используется динамическая нагрузка ударного характера.

Рассматривается различное число монослоев в обшивке панели, каждый из которых выполнен из клеевого препрега КМКС-2м.120.Т10 (стеклоткань Т-10-80 и клеевая композиция). Варианты заполнителей: полимеросотопласт марки ПСП-1 различной плотности на основе арамидноволокнистой бумаги и фенольного связующего; стеклосотопласт марки ССП-1 с различными размерами стороны сотовой ячейки на основе стеклоткани и полимерного связующего; PARABEAM марки 3D Glass Fabric на основе двух сотканных из стекловолокна пластин, связанных между собой вертикальным ворсом также из стекловолокна в сэндвич-структуру (смола полиэфирная или эпоксидная).

Определяется распределение полей напряжений и деформаций в монослоях обшивки панели в различные моменты времени. Вычисляется распределение индексов разрушения по различным критериям для полимерных композитов (Hoffman, DeAlia, Puppo-Evensen и др.). Дается сравнение полученных результатов для аналогичной трехслойной панели при отсутствии дефектов.

Numerical simulation of the behavior of a three-layer panel with a honeycomb core in the presence of damage

[1]Dedova D.V., [2]Medvedskiy A.L., [3]Martirosov M.I.
[1]IRKUT Corporation, Moscow, Russia
[2]TsAGI, Zhukovsky, Russia
[3]MAI, Moscow, Russia

Three-layer panels with honeycomb cores of various brands have found wide practical application in high-tech branches of modern industry, including in the aviation industry. Such structural elements have become widespread due to their low weight, high specific strength and stiffness, resistance to compressive loads, good heat-absorbing and sound-absorbing properties, high manufacturability.

As a result of external influences during operation and during the production of three-layer panels, defects (damages) may occur, which have a significant impact on the residual strength and bearing capacity of the finished product.

The paper presents numerical modeling based on the finite element method (FEM) of the behavior of a flat three-layer rectangular panel with honeycomb cores of various brands. It is believed that the panel has defects such as interlayer separation of elliptical or circular shape between the monolayers of composite panel skin (bearing layers) and between the monolayer and the filler. A dynamic shock load is used as an external load.

A different number of monolayers in the panel skin is considered, each of which is made of an adhesive prepreg KMKS-2m.120.T10 (fiberglass T-10-80 and adhesive composition). Options of cores: PSP-1 grade polymerosotoplast of various densities based on aramid fiber paper and phenolic binder; SSP-1 grade fiberglass with different sizes of the side of the honeycomb cell based on fiberglass and polymer binder; PARABEAM brand 3D Glass Fabric based on two plates woven from fiberglass, interconnected by a vertical pile also made of fiberglass in a sandwich structure (polyester or epoxy resin).

The distribution of stress and strain fields in the monolayers of the panel skin at various points in time is determined. The distribution of failure indexes according to various criteria for polymer composites (Hoffman, DeAlia, Puppo-Evensen, etc.) is calculated. A comparison of the results obtained for a similar three-layer panel in the absence of defects is given.

Новые методы оценивания и прогнозирования фазового потока квази-динамических систем

Зайцев В.В.
MAI, г. Москва, Россия

Рассматривается обзор оригинальных методов прогнозирования и оценивания временного сечения интегральной воронки различных систем, обобщающих динамические. Среди таких систем – динамические, динамические с управлением, квазидинамические системы моделирования процессов с помощью нейро сетей.

В начальный момент времени известно начальное компактное множество в фазовом пространстве. Рассматривается задача оценки фазового потока, начинающегося в начальном множестве на конечном интервале времени. При воздействии на изучаемый процесс неконтролируемых ограниченных факторов. рассматривается задача оценивания (прогнозирования) такого фазового потока.

Для динамических систем построены методы оценивания рассматриваемого фазового потока, используя построение оригинальных систем сравнения. Двухстороннее оценивание проводится среди множеств, ограниченных поверхностями уровня специальных функций Ляпунова, вектор функций Ляпунова и их различных обобщений. Рассматриваются различные случаи оценивания систем с одним инвариантным множеством, с отсутствием инвариантных множеств и др. В этих случаях построены соответствующие системы сравнения и оценки фазового потока системы.

Для динамических систем с управлением описанные методы применяются для построения областей достижимости. Отметим среди таких методов оценивание с помощью обобщений вектор функций Ляпунова, имеющих неограниченные поверхности уровня. Рассматривается задача построения системы управления, обеспечивающей движение ЛА на определенных высотах, под воздействием ветрового воздействия.

Для систем, моделируемых нейросетями, описанные методы корректно применять в случае некоторой монотонности исследуемых характеристик по параметрам нейро сети при выполнении предположений о стабильности (невозмущенности исследуемого процесса). Приводятся примеры построения оценок индекса MICEX российского фондового рынка при некоторых условиях (отсутствии сильных возмущений, новостей и соответствия состояния рынка идентичного концу 2021 года). В зависимости от времени динамического обновления параметров нейросети и предположениях о справедливости тенденций изменения этих параметров, эти оценки

справедливы на разных краткосрочных интервалах (от нескольких минут до нескольких часов).

New methods for estimating end predicting the phase flow of quasi-dynamical systems

Zaitsev V.V.
MAI, Moscow, Russia

An overview of original methods for estimating and predicting of the flow of systems is considered. Dynamic systems, dynamic systems with control, quasi-dynamic systems are studied.

At initial moment of time a compact set of initial conditions on the phase space is known. The problem of estimating the phase flow stating in the initial set is considered at a finite time interval. Under the influence of limited uncontrolled factors on the studied process, the problem of estimating(forecasting) is considered such a phase flow.

For dynamic systems the methods of phase flow estimating are constructed using the original construction of comparison systems. Two-way evolution is carried out among the sets bounded by the level surfaces of special L function, the vector L functions and their variations expressions.

For dynamical systems with control the described methods are used to estimating of the reachable areas. We note the use of special L functions with unlimited level surfaces.

Under the influence of limited uncontrolled factors on the studied process is boils down to study of quasi- dynamical systems. These systems can be obtained by modeling the process with neural networks. The described methods are correctly used to predict to the phase flow such quasi-dynamical systems with certain properties of monotony of the studied characteristics according to the parameter of neutral networks.

Example are given of constructing the forecast of Russian stock market index (MICEX) under the assumption of the absent of strong disturbances of market (absent of significant news) and compliance with structure of market to structure in 2021 year. The resulting of the forecast is valid as a short-term (up to several hours) in some assumptions. An analysis of the accuracy of forecasting is carried out.

Использование интерполяционных методов в задаче прогнозирования движения в околоземном пространстве

Ильин Е.А., Кузнецов А.А., Завьялова Н.А., Вафин К.М.
МФТИ, г. Долгопрудный, Россия

На сегодняшний день в околоземном пространстве находятся десятки тысяч космических объектов. Для их идентификации, прогнозирования местоположения, определения управляющих воздействий на функционирующие космические аппараты необходимо проводить многочисленные расчеты. Такие расчеты требуют большое количество ресурсов и времени. В настоящей работе рассмотрено несколько способов, позволяющих ускорить проведение баллистических расчетов, снизить затрачиваемые вычислительные мощности.

Одной из наиболее затратных стадий при прогнозировании траектории космического объекта является определение ориентации Земли. Современные физические модели требуют частого вычисления усеченных рядов и тригонометрических функций. Для ускорения вычислений авторы предлагают интерполировать зависимость кватерниона вращения Земли от времени при помощи полинома Ньютона на узлах Чебышева. В работе показано, что при использовании полиномов выше 15 порядка ошибка интерполяции на несколько порядков ниже точности моделей вращения Земли. При этом время, затрачиваемое на вычисление ориентации Земли, может быть снижено в 100 раз.

Второй не менее вычислительно затратной стадией является определение притяжения Земли. Подсчет тяготения сопряжен с вычислением частичной суммы ряда Гаусса. Для высокоточного прогнозирования движения объекта на низкой орбите требуется учитывать более десятка тысяч слагаемых ряда. Чтобы снизить затрачиваемое время вычислений авторы предлагают использовать трехмерную интерполяцию, построенную на узлах Чебышева-Лиссажу. Анализ показал, что интерполяция позволяет снизить время вычисления гравитационной силы на 1 — 2 порядка, без существенной потери в точности вычислений и без существенных дополнительных нагрузок на оперативное запоминающее устройство вычислительной машины.

The usage of interpolation methods in the problem of motion prediction in near-Earth space

Ilyin E.A., Kuznetsov A.A., Zavialova N.A., Vafin K.M.
MIPT, Dolgoprudny, Russia

Nowadays, there are tens of thousands of objects in the near-Earth space. To identify them, predict their location, and determine the control actions on a functioning spacecraft, it is necessary to conduct numerous calculations. Such calculations require a large amount of resources and time. In this paper, we consider several ways to accelerate ballistic calculations and reduce the computing power consumed.

One of the most expensive stages in predicting the trajectory of a space object is to determine the orientation of the Earth. Modern physical models require frequent calculation of truncated series and trigonometric functions. To speed up calculations, the authors propose to interpolate the dependence of the Earth's rotation quaternion on time using the Newton polynomial at Chebyshev nodes. The paper shows that when using polynomials above the 15th order, the interpolation error is several orders of magnitude lower than the accuracy of the Earth rotation models. At the same time, the time spent on calculating the orientation of the Earth can be reduced by 100 times.

The second no less computationally expensive stage is the determination of the Earth's gravitation. The calculation of gravity is conjugated with the calculation of the Gauss series partial sum. For high-precision prediction of the object movement in low orbit, it is required to take into account more than ten thousand terms of the series. To reduce the time spent on calculations, the authors suggest using three-dimensional interpolation based on Chebyshev-Lissajous nodes. The analysis showed that the interpolation reduces the calculation time of the gravitational force by 1-2 orders of magnitude, without significant loss in the accuracy of calculations and without considerable additional workloads on the RAM of the computer.

Моделирование работы линейной системы амортизации и демпфирования бесплатформенного инерциального измерительного прибора

Илюшин П.А., Наумченко В.П., Максимов С.А., Пикунов Д.Г., Соловьёв А.В.
АО «ЦЭНКИ», г. Москва, Россия

Чувствительные элементы в современных инерциальных навигационных системах для ракет-носителей должны обладать совокупностью характеристик, одновременное достижение которых зачастую весьма проблематично. С одной стороны, они должны иметь широкий диапазон работы и высокую чувствительность, с другой стороны, они должны быть стойкими к внешним вибрационным возмущениям. В рассматриваемом приборе для обеспечения заданных точностных характеристик применяется прецизионный вибрационно-струнный акселерометр (ВСА) собственной разработки [1].

Обеспечения требований к внешним возмущениям обычно удается добиться благодаря введению в конструкцию прибора системы амортизации. Эта задача достаточно широко исследована, но до сих пор нетривиальна [2]. На начальном этапе разработки необходимо провести теоретические расчеты и математическое моделирование воздействия внешних механических факторов на предполагаемую конструкцию прибора. В результате подобного исследования было установлено, что ранее примененные решения [3] не обеспечивают требований к заданным уровням воздействий в нештатном режиме работы изделия.

В текущем исследовании проводится оценка возможности обеспечения стойкости прибора к заданным воздействиям. В рассматриваемой модели ВСА установлен на блок чувствительных элементов (БЧЭ), который через систему амортизации и демпфирования с пружинами и виброгасящими демпферами связан с корпусом прибора. Упрощенную линейную систему уравнений движения такого объекта при помощи преобразования Лапласа и выделения интересующих параметров можно привести к виду передаточной функции. В качестве входного воздействия принимается перегрузка, приходящая на корпус прибора, в качестве выходного – перемещения БЧЭ относительно корпуса прибора и подвижной части ВСА относительно БЧЭ. Передаточная функция, в общем случае, содержит полином 4 порядка в числителе и полином 6 порядка в знаменателе.

Целевой задачей данной работы стал поиск набора решений и комплекса технически достижимых параметров системы амортизации и демпфирования, которые будут обеспечивать сохранение относительных перемещений в допустимых пределах. Было решено провести моделирование динамических характеристик системы в скрипте, написанном на языке Python. Для вычислений и создания графического интерфейса используются доступные импортируемые модули.

Литература:

1. И.А. Харьков, А.Д. Шустров, Л.М. Селиванова Трехкомпонентный дифференциальный вибрационно-струнный акселерометр // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Приборостроение”. 2003.№4.

2. Нашиф А., Джоунс Д., Хендерсон Дж. Демпфирование колебаний: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 448 с.

3. С.В. Топильская, Д.С. Бородулин, А.В. Корнюхин Обеспечение стойкости к механическим воздействиям малогабаритного гироскопического измерителя вектора угловой скорости // Космическая техника и технологии 2018 №3(22).

Strapdown inertial measurement unit shock absorption and damping linear system simulation

Ilyushin P.A., Naumchenko V.P., Maksimov S.A., Pikunov D.G., Solovyev A.V.
JSC “TsENKI”, Moscow, Russia

Sensors in modern launch vehicles inertial navigation systems must have the whole set of properties which are difficult to achieve simultaneously. Such system must have wide operation range and high sensitivity on the one hand, and on the other hand, they must be resistant to external vibration disturbances. To provide specified accurate characteristics self-developed high precision vibrating string accelerometer (VSA) [1] in the unit under consideration is applied.

Shock absorption system usually allows achieving specified impact requirements. This problem is extensively researched but still not trivial [2]. It is necessary to make a theoretical calculation and mathematical modelling of external mechanical factors impact on the unit expected structure when research starts. The result of current research is that previously applied decisions [3] does not allow achieving impact requirements in non-standard launch vehicles operation.

This research is dedicated to evaluate the possibility of achieving unit impact requirements. VSA mounted on sensitive unit (SU) associated with the unit body through the spring and damper in the model under consideration. The Laplace transform and the relevant parameters highlight allows obtaining transfer function of simplified linear system of such object motion equations. The model input is the overload of unit body. The model output is SU movement relative to the body of the unit and VSA mobile part movement relative to the SU. Transfer function generally contains 4-order polynomial in numerator and 6-order polynomial in denominator.

The aim of the work is to find the set of solutions and technically achievable variables of measurement unit shock absorption and damping system, which would provide relative movements staying within permissible limits. Developed Python script simulates system dynamic characteristics. Embedded imported modules allows performing calculation and graphic interface display.

References:

1. I.A. Kharkov, A.D. Shustrov, L.M. Selivanova. Three-component differential vibrating string accelerometer // Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument engineering 2003 №4

2. Ahid D. Nashif, David I.G. Johnes, John P. Henderson. Vibration damping // Translated from English. “Mir” 1988

3. S.V. Topilskaya, D.S. Borodulin, A.V. Kornyukhin. Making a compact gyroscopic angular rate meter resistant to mechanical forces // Space engineering and technology 2018 №3 (22)

VR/AR технологии в создании и эксплуатации аэрокосмической техники: реальные возможности и потенциал

Кабанов А.А., Амосов М.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Исследована сфера практического применения технологий виртуальной и дополненной реальности (Virtual Reality, Augmented Reality) в приложении к области создания и эксплуатации аэрокосмической техники.

Целью исследования ставились: оценка меры полезности технологии в целом, оценка эффективности использования решений разного уровня и класса, определение областей их наибольшей отдачи, выявление зон, где их использование является безальтернативным, в сравнении с другими инструментами и способами.

Исследование выполнено на основании анализа научно-технической информации (публикаций), посвященных VR/AR; описаний выполненных проектов по задачам промышленности, с использованием VR/AR; предлагаемых продуктов и услуг в области VR/AR; а также релевантных патентных источников информации, находящихся в широком доступе.

Среди анализируемых направлений выделены: круг решаемых задач, подходы и технологии, программное обеспечение, аппаратное обеспечение, методическое обеспечение, сопровождение и поддержка.

Прикладное использование технологий рассмотрено как независимо, так и при совместном использовании с другими цифровыми технологиями, применяемых, в том числе, для целей прототипирования элементов конструкций систем РКТ и связанных с ними процессов. Определено позиционирование рассматриваемых инструментов в стеке технологий для создания цифровых двойников изделий, процессов, производств РКТ.

Особое внимание уделено использованию VR/AR в высшем образовании, при обучении студентов в ходе выполнения лабораторных работ, НИРСов, дипломном проектировании.

В результате сформированы выводы относительно реальных возможностей технологий VR/AR, эффектов их практического использования по состоянию на сегодня и перспектив их потенциального применения в области создания и эксплуатации аэрокосмической техники.

VR/AR technologies in the creation and operation of aerospace technology: real opportunities and potential

Kabanov A.A., Amosov M.V.
MAI, Moscow, Russia

The sphere of practical application of virtual and augmented reality technologies (Virtual Reality, Augmented Reality) in the application to the field of creation and operation of aerospace equipment has been studied.

The purpose of the study was to assess the measure of the usefulness of the technology as a whole, evaluate the effectiveness of using solutions of different levels and classes, identify areas of their greatest return, identify areas where their use is uncontested, in comparison with other tools and methods.

The study was carried out on the basis of the analysis of scientific and technical information (publications) on VR/AR; descriptions of completed projects for industrial tasks, using VR / AR; offered products and services in the field of VR/AR; as well as relevant patent information sources that are publicly available.

Among the analyzed areas, the following are highlighted: the range of tasks to be solved, approaches and technologies, software, hardware, methodological support, maintenance and support.

The applied use of technologies is considered both independently and in conjunction with other digital technologies used, among other things, for the purposes of prototyping structural elements of RKT systems and related processes. The positioning of the considered tools in the stack of technologies for creating digital twins of products, processes, and RCT productions is determined.

Particular attention is paid to the use of VR / AR in higher education, when teaching students in the course of laboratory work, research work, graduation design.

As a result, conclusions were drawn regarding the real possibilities of VR / AR technologies, the effects of their practical use as of today and the prospects for their potential application in the field of creation and operation of aerospace technology.

Мультиагентные алгоритмы в задачах поиска оптимального управления пучками траекторий

Каранэ М.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Рассмотрена задача поиска оптимального управления нелинейными детерминированными системами с неопределённо заданными начальными условиями. Для ее решения требуется разработать алгоритм поиска оптимального управления на основе мультиагентных алгоритмов и с использованием псевдоспектрального метода.

Поставленная задача является актуальной, так как она формулируется во многих отраслях науки, а также в области авиационной и ракетно-космической техники. Особенностью данной задачи является неопределенность начальных условий, которые задаются в виде множества начальных состояний. Множество порождает совокупность траекторий системы, называемую пучком (или ансамблем) траекторий. Поэтому при решении таких задач ищется оптимальное управление пучком траекторий, и требуется оптимизировать критерий качества управления пучком двумя способами: минимизировать среднее или гарантирующее значения функционала типа Больца.

Оптимальное управление, как правило, использует информацию о времени и о координатах вектора состояния. В данном случае рассматривается управление с неполной обратной связью, которое зависит от времени и от части координат вектора состояния, доступной измерению. Использование управления такого вида дает дополнительные преимущества в связи с тем, что на практике часто встречаются системы управления, которые получают информацию от измерительной системы только о части координат.

Решение поставленной задачи рассматривалось во многих работах, исходя из которых, можно сделать вывод о том, что зачастую к нелинейным задачам поиска оптимального управления аналитические методы трудно применимы в связи со сложностью подхода или свойств поставленной задачи. Следовательно, может быть более эффективным использование численных алгоритмов, которые подразделяются на прямые и косвенные. В работе описан прямой метод поиска оптимального управления, заключающийся в параметризации закона управления. Для этого применяется псевдоспектральный метод: управление аппроксимируется глобальным многочленом, который ищется как комбинация базисных функций с некоторыми коэффициентами, значение которых неизвестно. Глобальный многочлен подбирает к узловым точкам сглаживающую функцию. Для выбора узловых точек используется метод Чебышева–Гаусса–Лобатто, а в качестве базисных функций – полиномы Чебышева. Псевдоспектральные методы применяются во многих областях науки, в частности при решении дифференциальных уравнений, уравнений в частных производных, в задачах астрофизики и других областях.

Для нахождения коэффициентов в разложении по базисным функциям и минимизации функционала качества управления пучком используются мультиагентные алгоритмы, а именно гибридный мультиагентный алгоритм интерполяционного поиска и метод, основанный на использовании линейных регуляторов управления движением агентов. Мультиагентные алгоритмы оптимизации базируются на описании множества агентов, движении которых приводит к решению задачи оптимизации.

В результате, сформирован алгоритм поиска оптимального управления пучками траекторий на базе мультиагентных алгоритмов и псевдоспектрального метода, и на основе описанного алгоритма разработано программное обеспечение, с помощью которого решены модельные примеры и задача о стабилизации спутника.

Multi-agent algorithms in problems of finding optimal control of trajectory bundles

Karane M.S.
MAI, Moscow, Russia

The problem of finding optimal control of nonlinear deterministic systems with uncertain initial conditions is considered. To solve it, it is necessary to develop an algorithm for finding optimal control based on multi-agent algorithms and used the pseudospectral method.

The task is relevant, as it is formulated in many branches of science, as well as in the field of aviation and rocket and space technology. The peculiarity of this problem is the uncertainty of the initial conditions, which are given in the form of a set of initial states. The set generates a set of trajectories of the system, called a bundle (or ensemble) of trajectories. Therefore, when solving such problems, optimal control of the bundle of trajectories is sought, and it is necessary to optimize the quality criterion of bundle control in two ways: to minimize the average or the guaranteeing values of the Boltz functional.

Optimal control, as a rule, uses information about time and about the coordinates of the state vector. In this case, control with incomplete feedback is considered, which depends on time and on part of the coordinates of the state vector available for measurement. The use of this type of control provides additional advantages due to the fact that in practice there are often control systems that receive information only about a part of the coordinates.

The solution of the problem has been considered in many papers, based on which it can be concluded that analytical methods are often difficult to apply to nonlinear problems of optimal control search due to the complexity of the approach or properties of the problem. Therefore, it may be more efficient to use numerical algorithms, which are divided into direct and indirect. The paper describes a direct method for finding optimal control, which consists in parameterizing the control law. To do this, a pseudospectral method is used: the control is approximated by a global polynomial, which is searched for as a combination of basis functions with some coefficients whose value is unknown. The global polynomial selects a smoothing function to the collocation points. The Chebyshev–Gauss–Lobatto method is used to select collocation points, and Chebyshev polynomials are used as

basis functions. Pseudospectral methods are used in many fields of science, in particular in solving differential equations, partial differential equations, in problems of astrophysics and other fields.

Multi-agent algorithms, namely a hybrid multi-agent interpolation search algorithm and a method based on the use of linear regulators for controlling the movement of agents, are used to find coefficients in the expansion by basic functions and minimize the functional quality of bundle control. Multi-agent optimization algorithms are based on the description of a set of agents, the movement of which leads to the solution of the optimization problem.

As a result, an algorithm for searching for optimal control of trajectory bundles was formed and software was developed based on the described algorithm, with the help of which model examples and the problem of satellite stabilization were solved.

Особенности применения аппроксимационных моделей на базе искусственных нейронных сетей для мониторинга переменного нагружения элементов конструкции самолёта по данным эксплуатационного регистратора

[1]Клепцов В.И., [2]Баутин А.А., [2]Свирский Ю.А., [2]Бессонов П.С.
[1]Иркут, г. Москва, Россия
[2]ФАУ «ЦАГИ», г. Жуковский, Россия

В отечественной практике наиболее распространенным способом учёта поэкземплярной нагруженности основных силовых элементов планера самолёта транспортной категории является сбор и анализ показаний датчиков бортовых эксплуатационных и аварийных регистраторов. Переход к интегральным характеристикам повторяемости силовых факторов происходит с использованием статистических моделей связи эквивалентных нагрузок с эквивалентной перегрузкой в центре тяжести самолёта. Преимуществами данного способа являются простота и низкие затраты на реализацию, недостатками – определяющее влияние исходной выборки на результат моделирования, невозможность восстановления экстремальных значений.

Альтернативно, можно восстановить временные реализации компонент внешних нагрузок, используя показания датчиков бортовых регистраторов, при помощи аппроксимационных моделей на базе искусственных нейронных сетей. В докладе приведены основные силовые элементы конструкции транспортного самолёта, для которых использование статистических моделей затруднено, а применение аппроксимационных моделей позволяет повысить точность. В качестве примера представлены результаты моделирования вертикального усилия на основную опору шасси самолёта RRJ-95 при помощи нелинейной авторегрессионной искуственной нейронной сети с экзогенными входами (NARX). Рассмотрены следующие основные методические вопросы, решение которых необходимо для дальнейшего совершенствования данной технологии: согласование частотных диапазонов реального и смоделированного нагружения; разработка типовых программ лётных испытаний для обучения, верификации и валидации нейросетевых моделей; выбор и обоснование критерия сходимости.

Литература:

1. Фейгенбаум Ю. М. Мониторинг условий эксплуатации и нормирование запасов на рассеивание эксплуатационной нагруженности при установлении ресурса пассажирского самолета по условиям прочности. Дисс. … канд. техн. наук. Москва, 2011. 148 с.

2. Пат. 2599108C1 Российская Федерация, МПК B64F5, G01D21. Способ мониторинга нагрузок и накопленной усталостной повреждаемости в условиях эксплуатации самолета / Цымбалюк В.И., Орлова Т.И., Фролов А.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФГУП «ЦАГИ») заявл. 07.07.2015; опубл. 10.10.2016, Бюл. № 28.

3. Allen M.J., Dibley R.P. Modeling Aircraft Wing Loads from Flight Data Using Neural Networks // E.: NASA Dryden Flight Research Center, 2003.

4. Reed S.C. Indirect aircraft structural monitoring using artificial neural networks // The Aeronatical Journal, No. 3152, 2008.

5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. // "Вильямс", 2006. с. 1104.

Features of artificial neural network approximation models build on the flight recorder data for variable load monitoring of aircraft structural elements

[1]Kleptsov V.I., [2]Bautin A.A., [2]Svirsky Yu.A., [2]Bessonov P.S.
[1]Regional Aircraft Branch of Irkut Corporation, Moscow, Russia
[2]TsAGI, Zhukovsky, Russia

In Russian aircraft industry, the most common way of taking into account for an individual load history of the principal structural element of transport category aircraft is the acquisition and analysis of data from the flight and emergency recorder sensors. In order to get the integral characteristics of the loading, the statistical models of the relationship between equivalent loads and equivalent overloads in the center of gravity of the aircraft are used. The advantages of this method are simplicity and low implementation costs. The disadvantages are the determining influence of the initial data set on the modeling result, the impossibility of obtaining extreme values.

Alternatively, it is possible to reconstruct the time realizations of the external load components using artificial neural network approximation models build on data from flight recorder sensors. The report shows the principal structural elements of transport aircraft, for which the use of statistical models is difficult, and the use of approximation models can improve accuracy. As an example, the results of modeling the vertical force on the main landing gear of the RRJ-95 aircraft using a nonlinear autoregressive artificial neural network with exogenous inputs (NARX) are presented. The following main methodological issues necessary for the further improvement of this technology are considered: matching of the frequency ranges of real and simulated load; development of standard flight test programs for training, verification and validation of neural network models; choice and rationale for the convergence criterion.

Расчётная оценка влияния начального повреждения на усталостную прочность композиционного материала

[1]Кононов Н.О., [1]Шрамко К.К., [1]Лутошкина А.Е., [2]Шадринов А.В.
[1]МАИ, [2]МИССиС, г. Москва, Россия

Полимерные композиционные материалы (ПКМ), широко применяющиеся в авиационной промышленности, являются предметом исследований во многих областях. За безусловными преимуществами ПКМ перед металлами стоят недостатки, которые также нуждаются в изучении. ПКМ больше других материалов подвержены разрушению от ударных повреждений с учетом возможного наличия дефекта полученного после формования изделия. В работе проводится оценка влияния начального повреждения, такого как трещина в слое или расслоения в районе конструктивных отверстий, на статическую и усталостную прочность ПКМ на основе методов вычислительной механики.

Основная цель работы – сравнение результатов в программном комплексе Siemens (в методе конечного элемента) с экспериментальными данными и последующая валидация методов расчетов долговечности ПКМ. Объект исследования – образец, выполненный из ПКМ Т300/5208 с центральным свободным отверстием. Моделирование данного образца повторяет условия проведения испытаний по стандарту ASTM D6484 с целью последующей верификации полученных данных с экспериментальными. Моделирование статическим расчетом, который является первой итерацией для расчета усталостной прочности, включает в себя исследование зарождения и развития начального повреждения в слое и расслоение в пакете материала. Для моделирования внутрислойного повреждения ПКМ были проведены расчеты необходимых величин прочности слоя, включенного в ламинат, которые сравнивались с экспериментальными данными. Также была проведена оценка влияния различных параметров модели на итоговые значения появления и роста начального повреждения. Данный образец при последующем усталостном расчете подвергается квазислучайной программе нагружения с превалирующим сжатием. Оценивается влияние полученных параметров на процесс разрушения.

Computational analysis of initial damage on fatigue strength of composite material

[1]Kononov N.O., [1]Shramko K.K., [1]Lutoshkina A.E., [2]Shadrinov A.V.

[1]MAI, [2]MISiS, Moscow, Russia

Polymer composite materials (PCMs), widely used in the aviation industry, require research among many. Behind the unconditional advantages of PCM over metals are those who are also consumed in food. PCMs are more susceptible to destruction from impact damage than other materials, taking into account the possible presence of a defect obtained after molding products. The paper assesses the initial damage, such as a crack in the structure or delamination in the region of structural holes, on mathematical statistics and the fatigue strength of PCM based on computational mechanics methods.

The main purpose of the work is to compare the results in the Siemens software package (in the finite element method) with experimental data and then check the methods for calculating the results of the PCM test. The object of study is a sample made of PCM T300/5208 with a central free hole. The simulation of this sample repeats the conditions for testing according to the ASTM D6484 standard in order to obtain verification of income with experimental ones. Prepared analysis simulation, which is the first iteration for fatigue analysis, includes the study of the initiation and development of initial damage in the structure and delamination in the material package. To simulate intralayer damage to PCM, calculations were made of the density of the layer included in the laminate, which were compared with experimental data. Various models were also evaluated for the final values and the growth of the initial damage. This sample in the subsequent fatigue analysis is subjected to a quasi-random loading program with prevailing compression. The influence on the parameters of the destruction process is estimated.

Разработка модели обтекания тела сложной формы свободномолекулярным потоком

Коротков Д.П.

МАИ, г. Москва, Россия

Моделирование взаимодействия поверхности космических аппаратов (КА) с окружающей средой относится к числу наиболее актуальных проблем космической техники. Химические реакции, протекающие на поверхности КА, проводят к изменению свойств поверхности, что зачастую ограничивает ресурс отдельных элементов аппарата.

Наиболее распространенные на сегодняшний день модели обтекания КА базируются на статистических методах, методах Монте-Карло. Эти методы позволяют достаточно точно описывать обтекание тел сложной формы, но, используя большие статистические ансамбли частиц газа, требуют соответственно большого количества вычислительных операций. Для проведения многопараметрических оптимизационных расчетов с использованием статистических моделей требуются вычислительные средства весьма высокой мощности.

Во второй половине прошлого века получили развитие методы описания свободномолекулярных течений, основанные на методе угловых коэффициентов. Этот метод сводится к решению интегрального уравнения Фредгольма 2-го рода. Численная интерпретация этого уравнения сводится к решению хорошо обусловленной матрицы, требующему небольшого количества итераций. В отношении количества необходимых для установившегося решения вычислительных операций метод угловых коэффициентов имеет существенные преимущества перед статистическими методами.

Целью настоящей работы является разработка модели обтекания, базирующейся на методе угловых коэффициентов. Разрабатываемая модель описывает течение многокомпонентной среды, содержащей, в том числе и компоненты, отсутствующие в невозмущенном потоке, т.е. образовавшиеся в процессе химических реакций на поверхности КА.

В процессе решения помимо интерференции молекул на поверхностях КА, рассматриваются следующие процессы, протекающие на указанных поверхностях:

• Адсорбция частиц набегающего потока при взаимодействии с поверхностью и распыление частиц адсорбционного слоя под воздействием потока частиц в зависимости от условий на поверхности;

• Влияние эмиссии частиц на состояние адсорбционного слоя и взаимодействие потока частиц с поверхностью;

• Изменение химического состава адсорбционного слоя поверхности и потока частиц в результате их взаимодействия.

Разработан алгоритм решения и проведены предварительные тестовые расчеты для модельных условий. Обсуждаются полученные результаты.

1. Р.Г. Баранцев, "Взаимодействие разреженных газов с обтекаемыми поверхностями", издательство "Наука" главная редакция физико-математической литературы, Москва 1975 г.

2. Г.Л. Саксоганский, "Молекулярные потоки в сложных вакуумных структурах", "Атомиздат", Москва 1980 г.

3. В.П. Шидловский, "Введение в динамику разреженного газа", издательство "Наука" главная редакция физико-математической литературы, Москва 1965 г.

4, Дж. Гиршфельдер, Ч. Кертисс, Р. Бёрд, "Молекулярная теория газов и жидкостей", издательство иностранной литературы, Москва 1961 г.

5, Е.Н. Бондарев, В.Т. Дубасов, Ю.А. Рыжов, С.Б. Свирщевский, Н.В. Семенчиков, "Аэрогидромеханика", издательство "Машиностроение", Москва 1993 г.

Development of a model of flow around a complex-shaped bodies by a free-molecular flow

Korotkov D.P.

MAI, Moscow, Russia

Modeling the interaction of the surface of spacecraft with the environment is one of the most pressing problems of space technology. Chemical reactions occurring on the surface of the device lead to a change in the properties of the surface, which often limits the resource of individual elements of the device.

The most common models of spacecraft flow today are based on statistical methods, Monte Carlo methods. These methods allow us to accurately describe the flow of bodies of complex shape, but using large statistical ensembles of gas particles, they require a correspondingly large number of computational operations. To carry out multiparametric optimization calculation using statistical models, computing tools of very high power are required.

In the second half of the last century, methods for describing free-molecular flows based on the method of angular coefficients were developed. This method reduces to solving the Fredholm integral equation of the 2nd kind. The numerical interpretation of this equation is reduced to solving a well-conditioned matrix that requires a small number of iterations. With regard to the number of computational operations required for a steady solution, the angular coefficients method has significant advantages over statistical methods.

The purpose of this work is to develop a flow model based on the method of angular coefficients. The developed model describes the flow of a multicomponent medium containing, among other things, components that are absent in the undisturbed flow, i.e. formed during chemical reactions on the spacecraft surface.

In the process of solving, in addition to the interference of molecules on the surfaces of the spacecraft, the following processes occurring on these surfaces are considered:

• Adsorption of particles of the incoming flow when interacting with the surface and spraying of particles of the adsorption layer under the influence of the particle flow, depending on the conditions on the surface;

• The effect of particle emission on the state of the adsorption layer and the interaction of the particle flow with the surface;

• Change in the chemical composition of the adsorption layer of the surface and the flow of particles as a result of their interaction.

A solution algorithm has been developed and preliminary test calculations for model conditions have been carried out. The results obtained are discussed.

Сравнительное исследование погрешностей измерения деформаций пятикомпонентными фольговыми тензометрическими розетками

[1]Левченко М.А., [2]Левченко М.М., [3]Загидуллин Ш.М.
[1]филиал «Стрела» МАИ, [2]ИАЛТ МФТИ, [3]ФАУ «ЦАГИ», г. Жуковский, Россия

При испытаниях на прочность натурных авиационных конструкций (см., например, [1]) широко применяются трехкомпонентные прямоугольные и равноугольные розетки, тип которых утвержден. В их состав входят фольговые тензорезисторы на общей подложке [2]. Однако в настоящее время пока не существует аттестованных методик измерений главных деформаций такими тензометрическими розетками. Как следствие, про значения погрешностей измерения главных деформаций бытуют лишь рабочие гипотезы, а конкретные знания отсутствуют.

Оценки погрешностей измерения главных деформаций серийно выпускаемыми равноугольными фольговыми розетками, содержащими три и четыре тензорезистора, получены в [3] с помощью математических методов статистики [4]. Там же предложен инновационный, метрологический метод определения главных деформаций.

В данной работе осуществляется сравнительное исследование погрешностей измерений главных деформаций пятикомпонентными фольговыми тензометрическими розетками. При этом помимо математических методов статистики используется метрологический метод определения главных деформаций. Для исследования выбраны две розетки. Одна из них, серийно выпускаемая тензометрическая розетка, состоит из трехкомпонентных прямоугольной и равноугольной розеток, имеющих общий тензорезистор. Другая, пятикомпонентная равноугольная розетка, серийно в настоящее время не выпускается.

Трехкомпонентные розетки, входящие в состав пятикомпонентных розеток, при исследовании погрешностей, рассматривались как индивидуальные средства измерений главных деформаций в одной и той же точке поверхности конструкции. Таким образом, наличие двух избыточных тензорезисторов в пятикомпонентной розетке обеспечило возможность рассмотрения такой розетки, как композиции десяти трехкомпонентных розеток, то есть как группового средства измерений главных деформаций в месте наклейки пятикомпонентной розетки.

Результаты сравнительного исследования погрешностей приведены в графическом виде с соответствующими комментариями. Было обнаружено, что повышение точности измерения главных деформаций и живучести розетки непосредственно связано с количеством тензорезисторов, входящих в ее состав. Рассмотрены вопросы выбора оптимального количества тензорезисторов в равноугольной розетке.

Литература:

1. Баранов А.Н., Белозеров Л.Г., Ильин Ю.С., Кутьинов В.Ф. Статические испытания на прочность сверхзвуковых самолетов. – М.: Машиностроение, 1974. 344 с.

2. E 1561-93 (Reapproved 2003). Standard Practice for Analysis of Strain Gage Rosette Data. – ASTM, USA, 2004. P. 1–4.

3. Загидуллин Ш.М., Левченко М.А. Об измерении главных плоских деформаций многокомпонентными равноугольными тензометрическими розетками // Материалы научно-практической конференции аспирантов. – М.: ЦАГИ, 2022. С. 27–29.

4. Cramér H. Mathematical Methods of Statistics. – Princeton: Princeton University Press, 1946. 575 p.

Comparative study of errors of deformations measurement by five-component foil strain gage rosettes

[1]Levchenko M.A., [2]Levchenko M.M., [3]Zagidullin Sh.M.
[1]«Strela» branch of MAI, [2]DAFE MIPT, [3]TsAgi, Zhukovsky, Russia

Three-component rectangle and equiangular rosettes of approved type are widely used in strength tests of full-scale aviation structures (e.g. [1]). Foil strain gages located on common substrate are comprised to their composition (2). However, there is no certified measurement techniques of main

deformations by such strain gage rosettes. Hence there are working hypothesis solely on values of main deformations measurement errors for lack of accurate information.

Estimation of main deformation measurement errors by mass-produced equiangular foil rosettes containing three and four strain gages are obtained in [3] using mathematical methods of statistics [4]. An innovative metrological method for determination of main deformations is proposed there.

Comparative research of measurement errors of main deformations by five-component foil strain gage rosettes is fulfiled in the present paper. Herewith a metrological method for determination of main deformations is applied in addition to mathematical methods of statistics. Two rosettes are selected to be investigated. First of them is available commercially, it includes three-component rectangle and equiangular rosettes with a common strain gage. The second five-component rosette is equiangular, it isn't mass-produced now.

The three-component rosettes as a part of five-component rosettes were considered as separate measuring tools for main deformations at the same point on the structure surface in measurement errors investigation. Hence the presence of two extra strain gages in the five-component rosette provided an opportunity to treat this rosette as a composition of ten three-component rosettes, that is, as a group measuring tool for main deformations at the place of putting on of the five-component rosette.

The results of the comparative study of measurement errors are presented in graphical form and supplied with proper comments. It was revealed that increase of accuracy in main deformations measuring and durability of the rosette are immediately associated with the number of strain gages in the rosette. The issues of selection of the optimal quantity of strain gages in the equiangular rosette are explored.

References:

1. Baranov A. N., Belozerov L. G., Ilyin Yu.S., Kutinov V.F. Static strength tests of supersonic aircraft. – M.: Mechanical Engineering, 1974. 344 p.

2. E 1561-93 (Reapproved 2003). Standard Practice for Analysis of Strain Gage Rosette Data. – ASTM, USA, 2004. P. 1–4.

3. Zagidullin Sh.M., Levchenko M.A. On measurement of main flat deformations by multicomponent equiangular strain gage rosettes // Proceedings of the scientific and practical conference for graduate students. M.: TsAGI, 2022. P. 27–29.

4. Cramér H. Mathematical Methods of Statistics. – Princeton: Princeton University Press, 1946. 575 p.

Расчетно-экспериментальные методы определения аэродинамических погрешностей измерения барометрической высоты в летных испытаниях самолетов транспортной категории

Ловицкий Л.Л., Пушков С.Г., Копылов И.А., Малахова И.В., Горшкова О.Ю.
ЛИИ, г. Жуковский, Россия

Изложены основные положения технологии определения аэродинамических погрешностей приемников воздушных давлений, измерения высоты и скорости с применением спутниковых навигационных систем, разработанной в АО «ЛИИ им. М.М. Громова». Технология внедрена в практику летных испытаний, является основным инструментом испытаний воздушных судов транспортной категории.

Основным содержанием работы являются применяемые в технологии расчетно-экспериментальные методы определения действительных значений воздушных параметров, аэродинамических погрешностей приемников воздушных давлений с применением средств траекторных измерений. Детально рассмотрены методы и алгоритмы определения аэродинамических погрешностей приемников воздушных давлений на режимах горизонтального установившегося полета. В основе предлагаемых решений – комплексное применение скоростного и барометрического методов определения аэродинамических погрешностей приемников воздушных давлений, использование адекватных математических моделей погрешностей средств определения воздушных параметров.

Решаемая задача имеет первостепенное значение для математического моделирования аэродинамических погрешностей, оценки средств определения воздушных параметров и средств вертикального эшелонирования.

Эффективность изложенных методов иллюстрируется результатами летных испытаний воздушного судна транспортной категории в части определения аэродинамических погрешностей приемников воздушных давлений, разработки законов коррекции погрешностей восприятия давлений и оценки остаточных аэродинамических погрешностей измерения высоты в условиях полета по эшелонам.

Литература:

1. Пушков С.Г., Харин Е.Г., Кожурин В.Р., Захаров В.Г. Технология определения аэродинамических погрешностей ПВД и воздушных параметров в летных испытаниях ЛА с использованием спутниковых средств траекторных измерений // ВИНИТИ РАН, Проблемы безопасности полетов. 2006. № 7. С. 8-26.

2. Пушков С.Г., Харин Е.Г., Кожурин В.Р., Ловицкий Л.Л. Эталонное измерение воздушных параметров с использованием спутниковых средств траекторных измерений в летных испытаниях воздушных судов // Авиакосмическое приборостроение. 2010. № 4. С. 5-9.

3. Пушков С.Г., Харин Е.Г., Ловицкий Л.Л. Технология определения воздушных параметров на больших углах атаки // Полет, № 6, 2010. С. 30- 36.

4. AC-21-40(0), Measurement of airspeed in light aircraft – certification requirements, 2005.

5. Ведров В.С., Тайц М.А. Летные испытания самолетов. М.: Оборонгиз, 1951. С. 64…106.

6. Харин Е.Г., Копылов И.А. Технологии летных испытаний бортового оборудования летательных аппаратов с применением комплекса бортовых траекторных измерений // М.: МАИ-ПРИНТ, 2012.

Computational and experimental methods for altitude aerodynamic errors determination in flight tests of a transport category aircraft

Lovitsky L.L., Pushkov S.G., Kopylov I.A., Malakhova I.V., Gorshkova O.Y.
FRI, Zhukovsky, Russia

The main provisions of the aerodynamic errors of air pressure ports, altitude and speed measurement errors determination technology using satellite navigation systems are presented. The technology has been introduced into the practice of flight tests and is the main tool for testing aircraft of the transport category in Flight Research Institute.

The main content of the work is the computational and experimental methods used in technology for the actual values of air parameters, aerodynamic errors of air pressure ports determination using trajectory measurement equipment. Methods and algorithms for the aerodynamic errors of air pressure ports determination in horizontal steady flight modes are considered in detail. The proposed solutions are based on the complex application of speed and barometric methods for the aerodynamic errors of air pressure ports determination and on the use of adequate mathematical models of air data systems errors.

The problem being solved is of prime importance for mathematical modeling of aerodynamic errors, air data and vertical separation systems estimation.

The effectiveness of the methods is illustrated by the results of an transport category aircraft flight tests.

The results of aerodynamic errors of an air pressure ports determination, correction functions developing and altimetry system error evaluation on flight levels are shown.

Модифицированный метод дифференциальной эволюции для параметрического синтеза нечеткой системы управления

Лунева А.А., Денисов М.Д., Лунева С.Ю., Пантелеев А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Для управления линейными и нелинейными объектами были разработаны и получили широкое применение методы синтеза нечетких регуляторов. Нечеткие регуляторы разрабатываются с применением методов нечетких множеств и нечеткой логики.

Нечеткая логика позволяет формализовать знания специалистов и экспертов при решении задач управления. Однако далеко не всегда имеется возможность приглашения специалиста для составления таблицы нечетких правил. Составление нечетких множеств также может стать трудоемкой задачей, требующей соответствующей квалификации в области решаемой задачи. В связи с этим, актуальным является применение алгоритма оптимизации параметров нечеткой системы при помощи метаэвристических методов.

В докладе представлен метод синтеза нечеткой системы с оптимальными параметрами, полученными в результате применения одного из метаэвристических алгоритмов.

Типовая нечеткая система содержит четыре модуля: фаззификация, правила нечеткого вывода, агрегирование и дефаззификация. Тогда нечеткую систему можно охарактеризовать расширенным блочным вектор-столбцом параметров, каждый блок которого содержит параметры соответствующего модуля.

Поскольку параметры, характеризующие нечеткую систему, могут быть представлены как целочисленными, так и вещественными значениями, для оптимизации параметров нечеткой системы в работе применяется модифицированный метод дифференциальной эволюции, позволяющий обрабатывать и целочисленные, и вещественные значения. В качестве целевой функции рассматривается критерий качества управления системой, определенный на множестве возможных начальных состояний.

Сформулирован и программно реализован алгоритм решения задачи оптимизации параметров нечеткой системы с использованием модифицированного метода дифференциальной эволюции. Программа позволяет оптимизировать функционирование нечеткой системы и гарантировать получение решения хорошего качества за приемлемое время. Она реализована на языке Python с использованием библиотеки для работы с системами нечеткого вывода.

Литература:

1. Passino K.M., Yurkovich S., Fuzzy control (Addison Wesley, 1998).

2. Бадалова А.Г., Пантелеев А.В. Управление рисками деятельности предприятия. – М.: Вузовская книга, 2-е изд., 2016. – 131 – 152 сс.

3. Веремей Е.И. Линейные системы с обратной связью: учебное пособие. – Спб.:Лань, 2013.

4. Пантелеев А.В., Бортаковский А.С. Теория управления в примерах и задачах. – М.: Высшая школа, 2003. – 584 с.

5. Пантелеев А.В., Скавинская Д.В. Метаэвристические алгоритмы глобальной оптимизациию – М.: Вузовская книга, 2019. – 104 – 109 сс.

Modified differential evolution method for parametric synthesis of fuzzy control system

Luneva A.A., Denisov M.D., Luneva S.Y., Panteleev A.V.
MAI, Moscow, Russia

To control linear and nonlinear objects, methods for the synthesis of fuzzy controllers have been developed and widely used. Fuzzy controllers are developed using the methods of fuzzy sets and fuzzy logic.

Fuzzy logic allows you to formalize the knowledge of specialists and experts in solving control problems. However, it is not always possible to invite a specialist to compile a table of fuzzy rules. Compilation of fuzzy sets can also become a difficult task that requires appropriate qualifications in the field of the problem being solved. In this regard, it is relevant to use an algorithm for optimizing the parameters of a fuzzy system using metaheuristic methods.

The report presents a method for synthesizing a fuzzy system with optimal parameters obtained as a result of applying one of the metaheuristic algorithms.

A typical fuzzy system contains four modules: fuzzification, fuzzy inference rules, aggregation and defuzzification. In this way the fuzzy system can be characterized by an extended block column vector of parameters, each block of which contains the parameters of the corresponding module.

Since the parameters characterizing a fuzzy system can be represented by both integer and real values, a modified differential evolution method is used to optimize the fuzzy system parameters,

which allows processing both integer and real values. As an objective function, the quality criterion of system control, defined on the set of possible initial states, is considered.

An algorithm for solving the problem of optimizing the parameters of a fuzzy system using a modified differential evolution method is formulated and program realized. The program allows you to optimize the functioning of a fuzzy system and guarantee a good quality solution in a reasonable time. It is implemented in Python using a library for working with fuzzy inference systems.

References:

1. Passino K.M., Yurkovich S., Fuzzy control (Addison Wesley, 1998).

2. Badalova A. G., Panteleev A. V., “Forming fuzzy inference system for enterprise risk level finding” in Enterprise risk management, 3-rd edition, (Vuzovskaya kniga, Moscow, 2017), pp. 131–152.

3. Veremey E. I., Linear Feedback Systems: A Tutorial, (Lan`, St.Petersburg, 2013).

4. Panteleev A.V., Bortakovskii A.S. Control theory in examples and tasks. - M.: Higher School, 2003. - 584 p.

5. Panteleev A.V., Skavinskaya D.V. Metaheuristic algorithms for global optimization - M.: Vuzovskaya kniga, 2019. – pp. 104 - 109.

Нелинейный анализ орбитальной устойчивости маятниковых колебаний тяжелого твердого тела с неподвижной точкой при условии Горячева-Чаплыгина

Максимов Б.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается движение тяжёлого твёрдого тела с неподвижной точкой в однородном поле тяжести. Предполагается, что главные моменты инерции тела для неподвижной точки удовлетворяют условию Горячева-Чаплыгина, т.е. находятся в отношении 1:4:1. В отличие от интегрируемого случая Горячева-Чаплыгина никаких дополнительных ограничений на положение центра масс тела не накладывается. Ранее было проведено исследование орбитальной устойчивости маятниковых колебаний в линейном приближении [1].

В данной работе выполнен нелинейный анализ и получены строгие выводы об орбитальной устойчивости маятниковых колебаний. При помощи введения специально выбранных локальных координат были получены уравнения возмущённого движения, записанные в канонической гамильтоновой форме. Была выполнена редукция этих уравнений на нулевом изоэнергетическом уровне. Это позволило свести задачу об орбитальной устойчивости к задаче об устойчивости положения равновесия периодической гамильтоновой системы второго порядка, зависящей от двух параметров: константа энергии и угол, определяющий однозначно положение центра масс.

В случае колебаний с малыми амплитудами удается ввести малый параметр (амплитуда колебаний) и исследовать задачу об устойчивости аналитически. В частности, аналитически были получены границы областей неустойчивости (параметрического резонанса). Вне областей параметрического резонанса аналитически с точностью до членов четвертой степени по каноническим переменным была получена нормальная форма функции Гамильтона уравнений возмущенного движения. Анализ устойчивости системы с нормализованной функцией Гамильтона проводился на основании известных критериев устойчивости [2]. В результате были получены строгие выводы об орбитальной устойчивости и неустойчивости вне областей параметрического резонанса, а также на их границах.

При произвольных значениях амплитуд задача об орбитальной устойчивости была сведена к задаче об устойчивости неподвижной точки симплектического отображения, генерируемого уравнениями возмущенного движения. На основе анализа коэффициентов данного отображения, вычисленных численно, были получены строгие выводы об орбитальной устойчивости и неустойчивости маятниковых колебаний. Результаты исследования представлены в виде диаграммы орбитальной устойчивости.

Исследование выполнено в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-11-00116).

Литература:
1. B.S. Bardin, B.A. Maksimov, V.K. Zarodov ``Analysis of the orbital stability of periodic pendulum motions of a heavy rigid body with a fixed point under the Goryachev–Chaplygin condition ", MATEC Web of Conferences, 362, 01003 (2022).
2. А.П. Маркеев, Точки либрации в небесной механике и космодинамике, М.: Наука. (1978).

Nonlinear Analysis of the Orbital Stability of Pendulum Oscillations of a Heavy Rigid Body with a Fixed Point under the Goryachev-Chaplygin Condition

Maksimov B.A.
MAI, Moscow, Russia

The motion of a heavy rigid body with a fixed point in a uniform gravitational field is considered. It is assumed that the main moments of inertia of the body for a fixed point satisfy the Goryachev-Chaplygin condition, i.e., they are in the ratio 1:4:1. In contrast to the Goryachev-Chaplygin integrable case, no additional restrictions are imposed on the position of the center of mass of the body. Previously, a study was made of the orbital stability of pendulum oscillations in the linear approximation [1].

In this work, a nonlinear analysis is performed and rigorous conclusions about the orbital stability of pendulum oscillations are obtained. By introducing specially chosen local coordinates, the equations of perturbed motion were obtained, written in the canonical Hamiltonian form. These equations were reduced at the zero isoenergetic level. This made it possible to reduce the problem of orbital stability to the problem of the stability of the equilibrium position of a periodic Hamiltonian system of the second order, which depends on two parameters: the energy constant and the angle that uniquely determines the position of the center of mass.

In the case of oscillations with small amplitudes, it is possible to introduce a small parameter (amplitude of oscillations) and to study the stability problem analytically. In particular, boundaries of the regions of instability (parametric resonance) were obtained analytically. Outside the regions of parametric resonance, the normal form of the Hamilton function of the equations of perturbed motion was obtained analytically up to terms of the fourth degree in canonical variables. The analysis of the stability of a system with a normalized Hamilton function was carried out on the basis of known stability criteria [2]. As a result, rigorous conclusions were obtained about the orbital stability and instability outside the regions of parametric resonance, as well as at their boundaries.

For arbitrary values of the amplitudes, the problem of orbital stability was reduced to the problem of the stability of a fixed point of a symplectic mapping generated by the equations of perturbed motion. Based on the analysis of the coefficients of this mapping, calculated numerically, rigorous conclusions were obtained about the orbital stability and instability of pendulum oscillations. The results of the study are presented in the form of an orbital stability diagram.

The study was carried out at the Moscow Aviation Institute (National Research University) with a grant from the Russian Science Foundation (project no. 19-11-00116).

References:
1. B.S. Bardin, B.A. Maksimov, V.K. Zarodov ``Analysis of the orbital stability of periodic pendulum motions of a heavy rigid body with a fixed point under the Goryachev–Chaplygin condition ", MATEC Web of Conferences, 362 , 01003 (2022).
2. A.P. Markeev, Libration Points in Celestial Mechanics and Space Dynamics. Moscow: Nauka, 1978.

Химическая физика, горение и взрыв, физика экстрема

Мартюшов С.Н.
МАИ, г. Москва, Россия

Проведена проверка применимости различных наборов реакций и значений коэффициентов в формулах Аррениуса для расчета воспламенения водородо-воздушных смесей. Рассмотрена апробация кинетической модели ветвящейся цепной реакции для расчета начальной стадии горения и детонации таких смесей. Проведены тестовые одномерные расчеты воспламенения смесей в малой замкнутой теплоизолированной области. В качестве тестовой одномерной

задачи решалась следующая задача: в некотором замкнутом объеме, первоначально заполненном стехиометрической смесью водород-воздух с атмосферными значениями газодинамических параметров, в начальный момент времени температура повышалась скачком до значений, при которых должна была начаться реакция горения (около 3 Татм в градусах Кельвина). Численный эксперимент состоял в данном случае в расчете термодинамических параметров газовой смеси в малом теплоизолированном объеме, при этом значения мольных концентраций газовой смеси рассчитывались при помощи решения жесткой системы обыкновенных дифференциальных уравнений по явному численному методу Гира и проводился до полного выгорания водородной компоненты или определению отсутствия возгорания в разумные пределы времени. Характерным свойством горения смеси H2-O2 является наряду с медленным горением появление режима моментального взрыва, который происходит после иногда длительного периода индукции. В этот период происходит накопление в смеси радикалов H, O и OH, при этом количество этих радикалов в смеси остается малым и происходит переход от одного радикала к другому. Механизм этого взрыва – ветвящиеся цепные реакции радикалов предложен Н.Н. Семеновым [1]. В соответствии с теорией ветвящихся цепных реакций в ходе процесса цепной реакции радикалы H, O, OH многократно вступают в реакцию с остальными компонентами смеси, при этом их масса остается малой, они полностью расходуются в ходе реакции, поэтому к O, OH применяется метод квазистационарных концентрации (скорость изменения их концентраций полагается равной нулю). Для компоненты H рассматривается упрощенное дифференциальное уравнение, при этом скорость роста H существенно превышает скорости изменения «медленных» компонент H2, O2, H2O, поэтому это уравнение должно решаться в другом временном масштабе. Разработан алгоритм расчета горения и детонации водородо-воздушных смесей на основе теории ветвящихся цепных реакий. Проведенные расчеты показали применимость указанного алгоритма для задач инициации горения и перехода к устойчивой детонации в водородо-воздушных смесях.

1. Семенов Н.Н. Самовоспламенение и цепные реакции. Успехи химии Т. 36 № 1 с.3-22, 1967.

Chemical physics deflagration and explosion

Martyushov S.N.
MAI, Moscow, Russia

Verification of validity of different manifolds of chemical reactions and coefficients in Arrhenius formulae was made for numerical simulation of deflagration appearing in hydrogen-air gas mixes. Kinetic model of branching chain reaction was tested for initial stage of detonation of this kind of mixes. One dimensional numerical simulations of deflagration initiation where provided for small closed heat isolated region. The next problem was solved numerically:in small closed volume , initially filled by hydrogen-air mix with atmospheric meanings of gas dynamics parameters at moment t=0 temperature rising till meaning, at which reaction of deflagration should begin (approximately 3 Татм). Numerical experiment consist of calculation of thermodynamics parameters of gas mix in small isolated volume. Meanings of molar concentration of components of gas mix where calculated by implicit numerical method of Gir for numerical decision.Calculation where provided till zero concentration of hydrogen or not appearing of deflagration at all. Characteristic feature of hydrogen-air gas mix deflagration is appearance of sudden explosion after long period of induction .In this induction period grows of radicals H, O and OH appears. Mass of radicals, nevertheless stay small, and one radical component transverse to the others. This explosion mechanism is branching chain reaction introduced by N.N.Semenov [1]. In agreement with branching chain reaction theory during process of branching chain reaction radicals H, O, OH many times initiates reaction with other components of the mix. Nevertheless mass of radical components preserve small during the reaction, them almost fully disappeared in every time of the process. That's why method of "quasi-stationary concentration" is treated to components O, OH (velocity of changing of this components concentration is equal to zero). For concentration of component H one simplified differential equation is treated. Speed of changing H essentially grater then speed of

changing “slow” components H2, O2, H2O , that’s why equation for H should be solved separately. Algorithm was developed for numerical simulation of hydrogen-air mixes on the basis of theory branching chain reactions. Calculations provided demonstrate applicability of developed algorithm for numerical simulations of initial stage of deflagration of hydrogen-air mixes.

1. Semenov N.N. Selfdeflagration and chain reaction. Uspehi Himii Vol. 36 № 1 pp. 3-22, 1967.

Эвристические методы построения оптимальной полиэдральной аппроксимации множеств достижимости и управляемости линейной дискретной системы

Мохначева А.А., Герасимова К.В., Ибрагимов Д.Н.
МАИ, г. Москва, Россия

Задачи анализа и синтеза для различных систем управления летательными аппаратами тесно связаны с вопросами построения множеств управляемости и достижимости. В силу наличия ограничений на управляющие воздействия, как правило, систему можно вывести на желаемый режим работы за указанное время не из каждого начального состояния. Более того, часть точек фазового пространства оказываются недостижимыми в принципе. Данные факты делают актуальной необходимость проверки принадлежности начального состояния множеству управляемости, а терминального состояния множеству достижимости за заданное число шагов.

С другой стороны, данные множества активно применяются для формирования оптимального позиционного управления в задачах с различными критериальными функциям. Так, например, на основе класса множеств 0-управляемости определяется структура оптимального процесса в задаче быстродействия для линейной дискретной системы с ограниченным управлением.

При этом в случае линейных ограничений на управление известно, что множества управляемости и достижимости представляют собой многогранники, число вершин которых растёт в общем случае экспоненциально в зависимости от рассматриваемого временного горизонта. Поскольку число вершин многогранника определяет число переменных и, следовательно, сложность задачи линейного программирования, решаемой для вычисления оптимального управления, актуальной оказывается задача снижения размерности данной ЗЛП за счёт проведения предварительной полиэдральной аппроксимации множеств управляемости и достижимости.

В докладе представлены два различных эвристических метода аппроксимации исходного многогранника некоторым вложенным в него многогранником с меньшим числом вершин. При этом точность аппроксимации понимается в смысле расстояния Хаусдорфа. Алгоритмы нацелены на построение вложенного многогранника с как можно меньшим числом вершин при сохранении заданного порядка точности.

Эффективность предложенных методов опробована на аппроксимации множеств 0-управляемости для системы управления движением спутника, расположенного в малой окрестности круговой орбиты.

1. Ибрагимов Д.Н. Оптимальное по быстродействию управление движением аэростата // Электрон.журн. Труды МАИ. 2015. №83.

2. Ибрагимов Д.Н., Сиротин А.Н. О задаче оптимального быстродействия для линейной дискретной системы с ограниченным скалярным управлением на основе множеств 0-управляемости // АиТ. 2015. №9. С.3-30.

Heuristic methods for constructing an optimal polyhedral approximation of the sets of attainability and controllability of a linear discrete system

Mokhnacheva A.A., Gerasimova K.V., Ibragimov D.N.
MAI, Moscow, Russia

The problems of analysis and synthesis for various aircraft control systems are closely related to the issues of constructing controllability and reachability sets. Due to the constraints on control actions the system can be transferred to the desired mode of operation for the specified time not from each initial state. Moreover, some points of the phase space turn out to be unreachable in principle.

These facts make it urgent to check whether the initial state belongs to the controllability set, and the terminal state belongs to the reachability set in a given number of steps.

On the other hand, these sets are used to construct the optimal positional control in problems with various criterion functions. For example, based on the class of 0-controllability sets, the structure of the optimal process in the speed-in-action problem for a linear discrete-time system with bounded control is determined.

It is known that the controllability and reachability sets are polytopes in the case of linear constraints on control, and the number of their vertices grows exponentially in the general case depending on the time horizon. Since the number of vertices of the polyhedron determines the number of variables and, consequently, the complexity of the linear programming problem solved to calculate the optimal control, the problem of reducing the dimension of this LP–problem by polyhedral approximation of the controllability and reachability sets becomes relevant.

The report presents two different heuristic methods for approximating the original polytope by some embedded polytope with a smaller number of vertices. The approximation accuracy is understood in the sense of the Hausdorff distance. The algorithms are aimed at constructing an estimating polyhedron with minimal number of vertices and a given order of accuracy.

The effectiveness of the proposed methods is tested on the approximation of 0-controllability sets for the motion control system of a satellite located in a small neighborhood of a circular orbit.

1. Ibragimov D.N. Speed-optimal control of the motion of a balloon // Proceedings of MAI. 2015. No. 83.

2. Ibragimov D.N., Sirotin A.N. On the Problem of Optimal Speed for the Discrete Linear System with Bounded Scalar Control on the Basis of 0-controllability Sets // Autom. Remote Control. 2015. V. 76. No. 9. P. 1517–1540.

Особенности верификации численного моделирования аэродинамики по результатам экспериментов в криогенной аэродинамической трубе

[1]Мусса Хосин, [2]Баринов В.А., [2]Павленко О.В., [2]Раздобарин А.М., [3]Февральских А.В.
[1]МФТИ, г. Долгопрудный, Россия
[2]ЦАГИ., г. Жуковский, Россия
[3]МАИ, г. Москва, Россия

Наряду с широким применением технологий численного моделирования, для прогнозирования аэродинамических характеристик полноразмерных летательных аппаратов (ЛА) на режимах обтекания со значением числа Рейнольдса порядка Re = 20.10^6 используются криогенные аэродинамические трубы. В ходе выбора методического подхода и оценки достоверности результатов численного моделирования необходимо пройти стадию верификации, то есть сравнить полученные аэродинамические характеристики с надежными опорными данными.

В настоящей работе исследуется проблема верификации результатов численного моделирования аэродинамики полноразмерного летательного аппарата на основе сравнения с результатами численного моделирования в криогенной аэродинамической трубе. С использованием пакета программ ANSYS FLUENT проведено численное исследование обтекания профиля крыла модели Common Research Model (CRM) для угла атаки α = 2° при различной температуре окружающей среды T = -158°C, T = +20°C и одинаковыми числами M = 0.85 и Re = 20.10^6. Численные исследования обтекания профиля крыла в различных температурных режимах показали, что верификация с экспериментальными данными, полученными в условиях низких температур криогенной аэродинамической трубы возможна только с безразмерными характеристиками и аэродинамическими коэффициентами. Приведенные в настоящей работе результаты показывают возможность верификации численного моделирования аэродинамики при значениях числа Рейнольдса порядка Re = 20.10^6 с использованием результатов экспериментов в криогенной аэродинамической трубе: значения аэродинамических характеристик и распределение коэффициента давления, полученные разными способами, хорошо согласуются.

Features of Verification of Numerical Simulation for aerodynamics characteristics based on the results of experiment in cryogenic wind tunnel

[1]Moussa Hocine, [2]Barinov V.A., [2]Pavlenko O.V., [2]Razdobarin A.M., [3]Fevralskikh A.V.
[1]MIPT, Dolgoprudny, Russia
[2]TsAGI, Zhukovsky, Russia
[3]MAI, Moscow, Russia

Along with the widespread use of numerical simulation technologies, for predicting the aerodynamic characteristics of full-size aircraft, on flow regimes with a Reynolds number Re = 20.10^6, cryogenic wind tunnels are used. To choose a methodological approach and evaluate the reliability of numerical calculations, it is necessary to go through the verification stage by comparing the obtained aerodynamic characteristics with reliable reference data. In this paper, we study the problem of verifying the results of numerical simulation of the aerodynamics of a full-size aircraft based on comparison with the results of experimental data obtained from cryogenic wind tunnel. Using the ANSYS FLUENT software package, a numerical study of the flow around the wing profile of the Common Research Model (CRM) was carried out, for angle of attack α = 2° at different ambient temperatures T = -158°C, T = +20°C and Mach number M = 0.85 and Reynolds number Re = 20.10^6.

Numerical studies of the flow around the wing profile in various temperature conditions have shown that verification with experimental data obtained at low temperatures in a cryogenic wind tunnel is possible only with dimensionless characteristics and aerodynamic coefficients. The results presented in this paper show the possibility of verifying the numerical simulation of aerodynamics for values of the Reynolds number of the order Re = 20.10^6 using the results of experiments in a cryogenic wind tunnel: the values of the aerodynamic characteristics and the distribution of the pressure coefficient obtained by different methods are in good agreement.

Осесимметричные тела минимального аэродинамического сопротивления в газовом потоке

Нгуен Л.В., Горелов С.Л.
МФТИ, г. Долгопрудный, Россия

Требуемая и существенная задача в развитии аэрокосмической науки и техники, а также авиационной техники является построением геометрия оптималного тела. В настоящее время интерес к этой наукой проблеме обусловлен потребностями авиационно-космической промышленности и связан с необходимостью совершенствования ракетной и авиационной техники.

В процессе высокоскоростного движения газа, тело всегда находится под влиянием аэродинамических сил, которые определяются по локальным моделям, основное предположение этих моделей заключается в том, что каждый элемент на поверхности тела взаимодействует с потоком газа независимо от других частей тела, и сила, действующая на него, зависит только от ориентации элемента относительно направления движения.

Классическая задача оптимизации конструкции осесимметричных тел аэродинамического минимального сопротивления по формуле Ньютона решалась во многих работах [1]. Такие задачи были решены эффективным численным методам [2].

Для осесимметричного тела вращения со степенной образующей и сферическим, параболическим и гиперболическим затуплениями вычисляется сила сопротивления в гиперзвуковом потоке разреженного газа на основе нескольких локальных моделей течения газа. Для этих случаев вариационная задача об определении образующей осесимметричные тела вращения сводится к задаче на экстремум функции от одной, двух или трех переменных.

Решаются задачи об определении оптимального формы осесимметричных тел вращения с затуплением в гиперзвуковом потоке разреженного газа в случае Ньютона и свободномолекулярной модели.

Результаты расчётов являются сравнением минимального сопротивления осесимметричных тел вращения и радиусы затупления в разных случаях в гиперзвуковом потоке газа для модели Ньютона и свободномолекулярного случая.

Сравнение результаты расчётов показывает, что во всех случаях, (для случая гиперзвукового свободномолекулярного течения и для случая модели Ньютона), значения коэффициента сопротивления для сферического и параболического затуплений близко. А значения для гиперболического и параболического затуплений совпадают. Результаты расчетов проводились при температурном факторе tw=0.1 и показатель степени адиабаты γ = 1.4

Кроме того, радиусы затупления монотоное уменшение с увеличением удлинения для всех случаях (сферическое, параболическое, гиперболическое затупление) в гиперзвуковом потоке газа для модели Ньютона и свободномолекулярного случая. Для одного и того же удлинения затупленные по сфере осесимметрчные тела вращения минимального сопротивления имеют наибольший радиус затупления, что способствует уменьшению теплового потока в критической точке [3].

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 20-08-00790.

Литература:

1. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М: Наука, 1989, 688с.

2. Черноусько Ф.Л., Баничук Н.В. Вариационные задачи механики и управления. М: Наука. 1973. 240 с.

3. Горелов С.Л., Нгуен В.Л. Тепловой поток в критической точке осесимметричных тел минимального сопротивления // Вестник МГОУ, Серия физика-математика. 2021. № 4. с. 43-53. DOI: 10.18384/2310-7251-2021-4-43-53

4. Горелов С.Л., Нгуен Ван Лам. Затупленное осесимметричное тело минимального сопротивления в гиперзвуковом потоке разреженного газа // Труды МФТИ. 2021, ТОМ 13, № 1. DOI: 10.53815/20726759_2021_13_1_96

5. Миеле А. Теория оптимальных аэродинамических форм. М: Мир. 1969. 508 с.

Axisymmetric bodies of minimum aerodynamic resistance in gas flow

Nguyen V.V., Gorelov S.L.
MIPT, Dolgoprudny, Russia

A required and essential task in the development of aerospace science and technology, as well as aviation technology, is the construction of an optimal body geometry. At present, the interest in this science problem is due to the needs of the aerospace industry and is associated with the need to improve rocket and aviation technology.

In the high-speed gas motion process, the body is always under the influence of aerodynamic forces, which are determined from local models, the main assumption of these models is that each element on the body's surface interacts with the gas flow independently of other parts of the body and the force acting on it depends only on the orientation of the element relative to the direction of motion.

The classical problem of optimizing the structure of minimum aerodynamic resistance axisymmetric bodies by the Newton formula was solved in many works [1]. Such problems were solved by effective numerical methods [2].

For axisymmetric body of revolution with a power generatrix and spherical, parabolic, hyperbolic bluntnesses, we calculate the drag force in a high-speed rarefied gas flow on several local gas flow models. For these cases, the variational problem of determining the generatrix of the rotational axisymmetric body is reduced to the problem on an extremum of the function for one, two, or three variables.

The problems of determining the optimal shape of axisymmetric bodies of revolution with bluntness in a hypersonic rarefied gas flow are solved in the case of Newton and the free molecular model.

The results of the calculations are a comparison of the minimum resistance of axisymmetric bodies of rotation and the bluntness radius in different cases in the hypersonic flow gas for the Newton model and the free molecular case.

Comparison of the calculation results shows that in all cases (for the case of hypersonic free molecular flow and for the case of the Newton's model), the resistance coefficient values for spherical

and parabolic bluntness are close. And the resistance coefficient values for hyperbolic and parabolic bluntness are the same. The results of the calculations were carried out for the temperature factor tw=0.1 and heat capacity ratio $\gamma = 1.4$.

Moreover, the bluntness radius monotonically decreases with increasing elongation for all cases (spherical, parabolic, hyperbolic bluntness) in hypersonic gas flow for the Newton's model and the free molecular case.

For the same elongation, the axisymmetric body of rotation of the minimum resistance has the largest bluntness radius for the sphere, which contributes to a decrease in the heat flux at the critical point [3].

This work was supported by Russian Foundation for Basic Research (Grant No. 20-08-00790).

References:

1. Newton I. Matematicheskie nachala natural'noi filosofii [Mathematical principles of natural philosophy]. Moscow, Nauka Publ., 1989., 688 p.

2. Chernous'ko F.L, Banichuk N.V. Variable Mechanical and Control Tasks M: Science. 1973. 240 c.

3. Gorelov S. L., Nguyen V. L Heat flux at a critical point of axisymmetric bodies of minimum resistance. // Vestnik MGOU, Physics-Mathematics Series.2021. № 4. c. 43-53. DOI: 10.18384/2310-7251-2021-4-43-53.

4. S. L. Gorelov, V. L. Nguyen. Blunted axisymmetric body with a minimal resistance in the hypersonic rarefied gas flow. Trudy MFTI. 2021, Tom 13, № 1. DOI:10.53815/20726759_2021_13_1_96.

5. Miele A. Theory of optimal aerodynamic forms. M: World. 1969. 508 p.

Комплекс программ синтеза оптимальных линейных регуляторов

Пантелеев А.В., Хвошнянская Е.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается задача оптимального управления линейными непрерывными детерминированными системами с накоплением информации о состоянии.

Цель работы заключается в разработке комплекса программ решения задачи синтеза и моделирования систем совместного оценивания и управления летательными аппаратами на языке Python.

Поведение системы управления описывается обыкновенными дифференциальными уравнениями с заданными начальными условиями. Качество управления оценивается величиной квадратичного функционала типа Больца.

Идея решения состоит в получении оценки вектора состояния в текущий момент времени по результатам измерений и использовании этой оценки в управлении вместо вектора состояния. Тогда, чем точнее оценка, тем ближе синтезированная система по свойствам к оптимальной при полной информации о состоянии. Для получения оценки вектора состояния находится матрица усиления наблюдателя. Она должна быть выбрана такой, чтобы ошибка оценивания достаточно быстро убывала. Для стационарных систем требуется, чтобы действительные части собственных значения характеристического уравнения были строго отрицательны. Алгоритм нахождения управления состоит из трех последовательных шагов: синтеза оптимального линейного регулятора, синтеза наблюдателя состояния, вырабатывающего оценку вектора состояния, получения искомого управления путем подстановки в закон управления вместо вектора состояния его оценки. Алгоритм продемонстрирован на примере управления самолетом типа "Business Jet". Моделирование системы управления производилось методом Рунге-Кутты 4 порядка. Анализ переходных процессов показал, что ошибки оценивания всех координат стремятся к нулю независимо от того, какими бы ни были начальные отклонения, при этом значения координат вектора состояния также стремятся к нулю, что требуется согласно сформулированной постановке задачи.

В результате работы сформированы алгоритмическое и программное обеспечения решения задачи синтеза оптимального линейного регулятора с накоплением информации о состоянии.

A software for the synthesis of optimal linear regulators

Panteleev A.V., Khvoshnyanskaya E.A.
MAI, Moscow, Russia

The problem of optimal control of linear continuous deterministic systems with accumulation of state information is considered.

The aim of the work is to develop a set of programs to solve the problem of synthesis and modeling of joint estimation and control systems of aircraft in the Python language.

The behavior of the control system is described by ordinary differential equations with given initial conditions. The quality of control is estimated by a Boltz-type quadratic functional.

The solution idea is to get an estimate of the state vector at the current time based on measurement results and use this estimate in control instead of the state vector. Then, the more accurate is the estimation, the closer the synthesized system is to the optimal system with full state information. In order to obtain an estimate of the state vector, the observer's gain matrix is found. It must be chosen such that the estimation error decreases quickly enough. For stationary systems, it is required that the real parts of the eigenvalues of the characteristic equation be strictly negative. The algorithm for finding a control consists of three sequential steps: synthesis of the optimal linear regulator, synthesis of the state observer that produces an estimate of the state vector, and obtaining the desired control by substituting its estimate into the control law instead of the state vector. The algorithm is demonstrated on the example of controlling a Business Jet type aircraft. The control system was simulated by the Runge-Kutta method of 4^{th} order. The analysis of transients showed that the estimation errors of all coordinates tend to zero no matter what the initial deviations were, while the values of state vector coordinates also tend to zero, which is required according to the formulated problem statement.

As a result, algorithmic and software for solving the problem of synthesis of the optimal linear regulator with accumulation of state information were formed.

Оптимизация баллистического построения системы мониторинга космического пространства

Петров Д.А., Кузнецов А.А., Завьялова Н.А., Негодяев С.С.
МФТИ, г. Долгопрудный, Россия

На сегодняшний день в околоземном космическом пространстве находятся десятки тысяч объектов. Большинство из них представляют собой космический мусор – объекты с неконтролируемой траекторией. Для функционирования действующих космических аппаратов критически важно отслеживать эти объекты с целью предотвращения столкновений. На данный момент определение орбит космического мусора выполняется в основном с использованием наземных средств наблюдения. Однако, уже сейчас ведутся работы по созданию перспективных средств космического базирования.

В настоящей работе исследована проблема оптимального расположения спутников-наблюдателей в космическом пространстве. Критерием оптимальности являлся параметр, называемой средней обзорностью целей. Этот параметр определялся как отношение времени наблюдения цели к времени моделирования и усреднялся по всем целям. Если время моделирования превышало 24 часа, то результат переставал зависеть от продолжительности моделирования. В качестве целей наблюдения использовались объекты, доступные в каталоге NORAD. Факт наблюдения определялся при помощи следующих критериев:

• Нахождение цели в конусе видимости оптического средства;

• Достаточность освещенности цели для регистрации на оптическом средстве спутника-наблюдателя;

• Отсутствие паразитных засветок оптического средства Луной, Солнцем и Землей.

Оптимизация проводилась методом сеток. Сперва рассматривались всевозможные круговые орбиты спутников-наблюдателей. В трехмерном пространстве параметров орбиты (наклонение, большая полуось и долгота восходящего узла) выбиралось такое построение, которое удовлетворяло максимуму средней обзорности на интервале моделирования. Вторым шагом определялось количество спутников-наблюдателей, которое следует размещать на

выбранной орбите. Заключительный шаг представлял собой определение зависимости средней обзорности целей и максимально возможной звездной величины регистрируемой оптическим средством спутника-наблюдателя.

После проведения оптимизации в окрестности выбранного решения было найдено устойчивое баллистическое построение, требующее для поддержания незначительных затрат характеристической скорости.

Optimization of the ballistic formation of the space monitoring system

Petrov D.A., Kuznetsov A.A., Zavialova N.A., Negodyaev S.S.
MIPT, Dolgoprudny, Russia

Tens of thousands of objects are now located in near-Earth space. Most of them are space debris - objects with uncontrollable trajectory. Tracking these objects to prevent collisions with satellites is critical to the mission. At the moment, the determination of space debris orbits is done mostly by ground-based observation means. However, work to develop promising space-based instruments is currently in progress.

In the present work the problem of optimal location of observation satellites in space was investigated. The criterion of optimality was a parameter called the average visibility of targets. This parameter was defined as the ratio of target observation time to simulation time and averaged over all targets. If the simulation time exceeded 24 hours, the result was no longer dependent on the duration of the simulation. Objects available in the NORAD catalog were used as observation targets. The fact of observation was determined using the following criteria:

- Whether the target was within the cone of visibility of the optics;
- Sufficiency of target illumination for registration on the observer satellite's optical instrument;
- Absence of parasitic illumination of the optical instrument by the Moon, the Sun and the Earth.

The optimization was carried out by the grid method. First, all possible circular orbits of the observation satellites were considered. In the three-dimensional space of the orbit parameters (inclination, semi-major axis, and longitude of the ascending node), such a formation was chosen that satisfied the maximum average visibility over the simulation interval. The second step was to determine the number of observation satellites that should be placed on the chosen orbit. The final step was to determine the relation between the average target visibility and the maximum possible magnitude recorded by the observation satellite optics.

After conducting the optimization, a stable ballistic formation was found in the vicinity of the chosen solution, requiring a low cost of characteristic velocity to maintain.

Решение задачи управления вертолётом при наличии случайного внешнего воздействия с использованием прогнозирующей модели

Петров К.С., Кудрявцева И.А.
МАИ, г. Москва, Россия

В работе рассматривается задача управления вертолётом при наличии случайного внешнего воздействия. При этом в качестве исходной системы управления используется модель движения вертолёта, линеаризованная относительно режима, соответствующего движению на высоте уровня моря без скольжения с постоянной горизонтальной скоростью. Кроме того, данная модель включает в себя внешнее возмущение, являющееся случайным. Соответственно, ищется такое управляющее воздействие, которое приводило бы вертолёт в состояние равновесия, т. е. обнуляло бы малые возмущения в движении.

Для решения поставленной задачи применяется подход, основанный на использовании прогнозирующей модели управления (MPC). При этом, учитывая наличие случайных помех, данный подход модифицируется с помощью добавления в него фильтра Калмана.

Необходимо отметить, что исходная линеаризованная модель управления вертолётом является непрерывной, тогда как используется подход на основе прогнозирующей модели, работающий с дискретными моделями. Для разрешения данного несоответствия проводится дискретизация исходной модели управления с помощью неявного методы Эйлера.

Также стоит заметить, что матрицы исходной линеаризованной системы управления получены для режимов, соответствующих конечному набору постоянных горизонтальных скоростей. Очевидно, что скорость полёта вертолёта почти никогда не совпадает ни с одной из скоростей, присутствующих в данном наборе. Следовательно, необходимо получать матрицы системы для реальных скоростей. Эта проблема решается с помощью интерполяции с применением финитных функций специального вида.

Итак, алгоритм, основанный на МРС, работает с системой управления, включающей в себя матрицы, полученные после дискретизации системы и применения интерполяции с помощью финитных функций. Данный алгоритм рассчитывает изменение управления, необходимое для стабилизации вертолёта, исходя из подсчитанного изменения вектора состояния и выходного вектора. Полученное изменение управления добавляется к текущему управлению.

Из-за присутствия случайных воздействий, очевидно, рассчитанный с помощью модели системы управления вектор состояния будет отличаться от истинного. Соответственно, для улучшения работы алгоритма на основе прогнозирующей модели с помощью фильтра Калмана рассчитывается оценка вектора состояния, которая и подаётся на вход алгоритма.

С помощью предложенного алгоритма проведено моделирование движения вертолёта. Проведён сравнительный анализ результатов.

1. Wang, L. Model Predictive Control System Design and Implementation Using MATLAB. – London: Springer-Verlag, 2009. – 403 с.

2. Padfield, G.D. Helicopter flight dynamic. The theory and application of flying qualities and simulation modelling. – Oxford: Blackwell Publishing, 2007. – 680 с.

3. Рыбаков, К.А. Спектральные аналоги множества допустимых управлений для финитных базисных систем / К.А. Рыбаков // Дифференциальные уравнения и процессы управления. – 2016. – № 2. – с. 41-71.

4. Irina Kudryavtseva, Aleksandr Efremov, and Andrei Panteleev, "Optimization of helicopter motion control based on the aggregated interpolation model", AIP Conference Proceedings 2181, 020008 (2019).

5. I.A. Kudryavtseva, A.V. Panteleev, Smart Innovation, Systems and Technologies, 274, 363 (2022).

Solving the helicopter control problem in the presence of random external influence using a predictive model

Petrov K.S., Kudryavtseva I.A.
MAI, Moscow, Russia

The paper considers the problem of helicopter control in the presence of accidental external influence. At the same time, a helicopter motion model is used as the initial control system, linearized with respect to the mode corresponding to movement at sea level without sliding at a constant horizontal speed. In addition, this model includes an external disturbance that is random. Accordingly, we are looking for such a control action that would bring the helicopter into a state of equilibrium, i.e. would reset small perturbations in motion.

To solve this problem, an approach based on the use of a predictive management model (MPC) is applied. At the same time, taking into account the presence of random interference, this approach is modified by adding a Kalman filter to it.

It should be noted that the initial linearized helicopter control model is continuous, whereas a predictive model-based approach working with discrete models is used. To resolve this discrepancy, the initial control model is discretized using the implicit Euler method.

It is also worth noting that the matrices of the original linearized control system are obtained for modes corresponding to a finite set of constant horizontal velocities. Obviously, the helicopter's flight speed almost never coincides with any of the speeds present in this set. Therefore, it is necessary to obtain the matrices of the system for real speeds. This problem is solved by interpolation using finite functions of a special kind.

So, the MPC-based algorithm works with a control system that includes matrices obtained after sampling the system and applying interpolation using finite functions. This algorithm calculates the

control change required to stabilize the helicopter based on the calculated change in the state vector and the output vector. The resulting control change is added to the current control.

Due to the presence of random influences, it is obvious that the state vector calculated using the control system model will differ from the true one. Accordingly, to improve the operation of the algorithm, based on the predictive model, an estimate of the state vector is calculated using the Kalman filter, which is fed to the algorithm input.

With the help of the proposed algorithm, the helicopter movement was simulated. A comparative analysis of the results was carried out.

1. L. Wang, Model Predictive Control System Design and Implementation Using MATLAB (Springer-Verlag, Melbourne, 2009).

2. G.D. Padfield, Helicopter flight dynamic. The theory and application of flying qualities and simulation modelling (Blackwell Publishing, Oxford, 2007).

3. K.A. Rybakov, Differential Equations and Control Processes, 2, 39 (2016).

4. Irina Kudryavtseva, Aleksandr Efremov, and Andrei Panteleev, "Optimization of helicopter motion control based on the aggregated interpolation model", AIP Conference Proceedings 2181, 020008 (2019).

5. I.A. Kudryavtseva, A.V. Panteleev, Smart Innovation, Systems and Technologies, 274, 363 (2022).

Принципы прогнозирования природно-климатических явлений и процессов на основе машинного обучения

Плотникова Н.О., Булакина М.Б., Ляпина С.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

Современное состояние теории природно- климатических процессов с некоторой точностью позволяет моделировать динамику их развития, однако влияние каждого из установленных факторов и их взаимовлияние, и общий результат воздействия на наблюдаемые феномены пока остается наиболее сложной и трудоемкой частью прогнозирования. Это приводит к тому, что для разработки прогноза опасных и природных явлений все более часто стали применяться методы искусственного интеллекта, среди которых доминируют методы машинного обучения, и в первую очередь, методы глубокого обучения, позволяющие учесть влияние множества взаимодействующих между собой факторов. При этом для прогнозирования погодных феноменов в статике продуктивным является применение рекуррентных нейронных сетей, а для прогнозирования динамики их развития – сверточных нейронных сетей. Основанием для использования методов машинного обучения служит регулярная повторяемость (цикличность) изменения анализируемых параметров, для природно-климатических явлений и процессов это, в первую очередь, сезонные изменения, приливы и отливы и др. Это позволяет использовать в качестве исходных данных для обучения результаты многолетних фенологических наблюдений, образующих временные ряды. Однако вопрос о составе параметров для построения модели остается открытым, а увеличение числа учитываемых при прогнозировании факторов лишь незначительно повышает точность прогноза. Кроме того, в течение последнего времени изменяется соотношение и влияние традиционных факторов (например, отмечается глобальное потепление), а к известным факторам добавляется также ряд новых и малоизученных, в том числе техногенного характера. Для выявления значимых факторов – наряду с естественнонаучными моделями – целесообразно использовать технологии неконтролируемого обучения, которые позволяют на относительно свежих ретроспективных данных обнаружить новые, не учитываемые ранее факторы для определения входных параметров моделируемых природно-климатических явлений. Как показывает практика, точность прогноза не увеличивается за счет расширения периода наблюдений, поскольку в результате неконтролируемого обучения могут быть выделены новые, ранее не учитываемые факторы, а также установлено новое соотношение движущих сил природных феноменов. Вследствие этого среди различных методов машинного обучения для прогнозирования природно-климатических явлений и процессов наиболее продуктивным представляется

обучение с подкреплением, при которых нейронная сеть постоянно доучивается исходя из новых актуальных данных.

Такие природно-климатические феномены, как паводки, наблюдаются достаточно часто, при этом они нередко они принимают характер наводнений, вызывающих тяжелые народнохозяйственные последствия. Предсказуемость этих явлений во времени очень короткая и зависит не только от климатических изменений, но и рельефа местности, наличия и состояния расположенных поблизости водных объектов, гидрологических сооружений и др. Поэтому полезно добавить методы, основанные на данных, к инструментам детерминистического моделирования, чтобы получить ожидаемую предсказуемость события, также известную как прогноз паводков. Подробное знание этих явлений вместе с разработкой имитационных моделей развития наводнений может быть полезным инструментом для мониторинга и снижения риска чрезвычайных ситуаций.

Principles of Forecasting Natural and Climatic Phenomena and Processes Based on Machine Learning

Plotnikova N.O., Bulakina M.B., Lyapina S.Y.
MAI, Moscow, Russia

The current state of the theory of natural-climatic processes with some accuracy allows modeling the dynamics of their development, however, the influence of each of the established factors and their mutual influence and the overall result of the impact on the observed phenomena remains the most difficult and time-consuming part of forecasting. This leads to the fact that for the development of a forecast of dangerous and natural phenomena, artificial intelligence methods are increasingly being used, among which machine learning methods dominate, and first of all, deep learning methods, which allow taking into account the influence of many interacting factors. At the same time, to predict weather phenomena in statics, it is productive to use recurrent neural networks, and to predict the dynamics of their development, convolutional neural networks. The basis for using machine learning methods is the regular repetition (cyclicity) of changes in the analyzed parameters; for natural and climatic phenomena and processes, first, these are, seasonal changes, ebbs, and flows, etc. It allows using the results of long-term phenological observations that form time series. However, the question of the composition of the parameters for constructing the model remains open, and an increase in the number of factors considered in forecasting only slightly increases the accuracy of the forecast. In addition, the ratio and influence of traditional factors has recently changed (for example, global warming has been noted), and a number of new and little-studied factors, including technogenic ones, have also been added to the known factors. To identify significant factors, along with natural-science models, it is advisable to use unsupervised learning technologies that allow, using relatively fresh retrospective data, to discover new, previously not taken into account factors for determining the input parameters of simulated natural and climatic phenomena. As practice shows, the accuracy of the forecast does not increase due to the extension of the observation period, because of unsupervised learning, new, previously not considered factors can be identified, and a new ratio of the driving forces of natural phenomena can be established. As a result, among the various machine learning methods for predicting natural and climatic phenomena and processes, reinforcement learning seems to be the most productive, in which the neural network is constantly trained based on new relevant data. Such natural and climatic phenomena as floods are observed quite often, and they often take on the character of floods, causing severe economic consequences. The predictability of these phenomena over time is very short and depends not only on climate change, but also on the terrain, the presence and condition of nearby water bodies, hydrological structures, etc. Therefore, it is useful to add data-driven methods to deterministic modeling tools to obtain the expected event predictability, also known as flood forecasting. Detailed knowledge of these phenomena, together with the development of flood simulation models, can be a useful tool for monitoring and reducing the risk of emergencies.

Цифровые технологии, как основа создания высокоинтеллектуальных комплексов бортового оборудования перспективных вертолетов

Прядкин С.П., Бельский А.Б., Чобан В.М., Антипов Н.А.
НЦВ Миль и Камов, р.п. Томилино, Россия

Исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом, показали, что пределы совершенствования современных подходов вертолетостроения близки к исчерпанию, достичь прорывного превосходства в рамках традиционных технологических и конструктивных решений практически невозможно, поэтому необходим комплексный подход для решения указанной задачи. В мировом вертолетостроении значительное внимание уделяется цифровому моделированию и применению новых информационных технологий при выборе оптимальных обликов, как на этапах проектирования перспективных проектов винтокрылых летательных аппаратов (далее – ВКЛА), так и на этапах испытаний [1]. Цели моделирования – экономии времени, снижения рисков и затрат, связанных с «прорывными» проектами, разработчикам и специалистам удается избежать многих ошибок, которые были допущены в предыдущих периодах создания перспективных ВКЛА.

Натурные испытания масштабных моделей хорошо работают

при определении характеристик отдельных компонентов – винтов, фюзеляжа, силовой установки, трансмиссии и т.д., но они оказываются менее пригодными, когда эти компоненты объединяются в единую конструкцию. Требуются значительные временные и финансовые ресурсы для устранения замечаний, в случае их выявления. По этой причине у многих предыдущих перспективных программ ВКЛА было много проблем с практической реализацией, они приостанавливались или закрывались из-за значительных временных, трудовых и финансовых затрат.

Применение цифрового двойника изделия позволяет перенести основную часть виртуальных испытаний на начальный этап проектирования, внести максимальное число необходимых изменений на этой же стадии и тем самым сократить время, необходимое для внедрения изделия на борт ВКЛА.

Как в России, так и в мире активно внедряются программы цифровизации и развития цифровых двойников: в 2012 г. цифровой двойник (Digital Twin) был представлен в дорожной карте NASA [2], затем Германия предложила концепцию «Индустрии 4.0» [3], далее идут концепции „Сделано в Китае 2025“ (Китай), „Фабрика будущего“ (Франция), в России – «Стратегия научно-технологического развития РФ», программы «Цифровая экономика Российской Федерации» и «Национальная технологическая инициатива».

ЦД представляет особый интерес как технология, которая находится на стыке цифровой и физической реальности и при этом развивается на фоне схождения целого ряда новых перспективных технологий, таких как искусственный интеллект (ИИ).

Использование средств цифрового моделирования облика ВКЛА и его функционирования при решении заданного перечня задач, обеспечивает:

-возможность проведения широких параметрических исследований различных концепций и проектных решений для определения оптимальных летно-технических (тактико-технических) характеристик и оптимального облика ВКЛА;

-использование моделей функционирования ВКЛА (функциональных моделей) при решении отдельных задач с целью определения оптимальных технических обликов одноцелевых типов ВКЛА и оценки их эффективности;

-возможность проведения системных исследований более высокого уровня по определению количественно-качественных показателей парка ВКЛА.

Литература:

1. Современное состояние моделирования винтокрылых летательных аппаратов. https://www.rotorandwing.com/2018/08/23

2. Garfinkel J. (2018) Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technology Trends, Gartner Tech.

3. Tuegel E.J., Ingraffea A.R., Eason T.G. (2011) et al. Intern. Journal of Aerospace Engineering, vol. 14.

Digital techologies as the basis for the creation of highly intelligent avionics systems for promising helicopters

Pryadkin S.P., Belski A.B., Choban V.M., Antipov N.A.
NHC Mil&Kamov, Tomilino, Russia

Studies conducted in our country and abroad have shown that the limits of improving modern approaches to helicopter construction are close to exhaustion, it is almost impossible to achieve breakthrough superiority within the framework of traditional technological and design solutions, therefore, an integrated approach is needed to solve this problem. In the global helicopter industry, considerable attention is paid to digital modeling and the use of new information technologies when choosing the optimal shapes, both at the design stages of promising projects of rotary-wing aircraft (RWA), and at the testing stages [1]. The goals of modeling are to save time, reduce risks and costs associated with "breakthrough" projects, developers and specialists manage to avoid many mistakes that were made in previous periods of creating promising RWA.

Field tests of scale models work well, when determining the characteristics of individual components - propellers, fuselage, power plant, transmission, etc., but they are less suitable when these components are combined into a single design. Significant time and financial resources are required to eliminate comments, if any. For this reason, many previous promising programs of the RWA had many problems with practical implementation, they were suspended or closed due to significant time, and costs.

Both in Russia and in the world, digitalization programs and the development of digital twins are being actively implemented: in 2012, the Digital Twin (DT) was presented in the NASA roadmap [2], then Germany proposed the concept of "Industry 4.0" [3], in Russia - “Strategy for Scientific and Technological Development of the Russian Federation”, programs “Digital Economy of the Russian Federation” and “National Technological Initiative” are underway.

The creation of a DT of the RWA will provide the possibility of conducting extensive parametric object-oriented studies of various concepts and design solutions to determine the optimal characteristics and main parameters of an aircraft designed to solve a given list of tasks. With this approach, the obtained optimal parameters give the maximum value of the efficiency criterion for a given set of tasks. As a rule, the formation of the appearance of the OE&W involves the study of a multi-parameter region, and the number of possible alternative appearances is determined by the set of feasible solutions from the region of existence of variable (optimized) parameters.

The use of digital modeling tools for the appearance of the RWA and its functioning in solving a given list of tasks provides:

• The possibility of conducting extensive parametric studies of various concepts and design solutions to determine the optimal flight performance (tactical and technical) characteristics and optimal design of the RWA;

• Use of RWA functioning models in solving individual problems in order to determine the optimal technical appearance of single-purpose RWA types and evaluate their effectiveness;

• The possibility of conducting systematic studies of a higher level to determine the quantitative and qualitative indicators of the RWA fleet.

References:

1. Current state of rotorcraft modeling. https://www.rotorandwing.com/2018/08/23

2. Garfinkel J. (2018) Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technology Trends, Gartner Tech.

3. Tuegel E.J., Ingraffea A.R., Eason T.G. (2011) et al. Intern. Journal of Aerospace Engineering, vol. 14.

Повышение эксплуатационных свойств ресурсолимитирующих узлов гидроприводов мобильной техники

[1]Пузанов А.В., [1]Косорукова О.В., [1]Клеветов Д.В., [2]Старостин Д.А., [2]Мусатов Р.Л.
[1]КГТА, [2]ВНИИ Сигнал, г. Ковров, Россия

Силовой гидравлический привод один из самых распространенных в мобильной технике, особенно в беспилотной, благодаря бесступенчатому регулированию скоростей,

распределенной компоновки системы, простоте организации предохранительных функций с градацией защиты основной и вспомогательной систем.

Наиболее ответственными ресурсолимитирующими узлами гидропривода, определяющими его эксплуатационные характеристики, являются трибопары гидромашин. Поэтому именно исследование физических явлений, характеризующих сложное взаимодействие жидкости и конструктивных элементов гидромашин, имеет решающее значение для улучшения существующих конструкций и разработки более эффективных приводов.

Широкий диапазон внешних и внутренних факторов воздействия на мобильную технику и компоненты усложняет прогнозирование ресурса узлов и всей системы. Недетерминированные условия эксплуатации мобильной техники (широкий диапазон климатических, силовых, вибрационных, акустических и прочих воздействий), а также тенденции повышения их скоростных характеристик, приводят к большому разбросу значений показателей ресурса и надежности. Их анализ с целью улучшения при варьировании отдельных факторов воздействия, условий эксплуатации, а также конструктивных и технологических параметров [1], возможно посредством программно-аппаратного исследовательского комплекса.

Мировые тренды по улучшению ресурсных характеристик гидроприводов направлены на исследования взаимодействие жидкости с конструкцией при новых комбинацияях материалов и свойств микроповерхностей с учетом тепловых эффектов [2, 3, 4], реологических свойств рабочей жидкости [6], улучшение триботехнических свойств сопряженных поверхностей [5], влияния эффектов кавитации [6] и переходных режимов работы.

Авторами предложен программно-аппаратный комплекс модельных и экспериментальных исследований трибопар гидромашин. Посредством данного комплекса проведены работы по минимизации возможности возникновения непосредственного контакта и последующего износа, изучению различных сочетаний материалов и модификации поверхностных слоев трибосопряжений, технологические средства ограничения нестационарных условий работы оборудования, приводящих к трибоконтактам. В данной работе приведены основные результаты исследований этой темы.

Литература:

1. Пузанов, А.В. Моделирование работоспособности насосного оборудования в арктических условиях эксплуатации / А.В. Пузанов, О.О. Сукоркина, Е.А. Ершов // Автоматизация. Современные технологии. 2020, т.74, №3 – С. 108-111.

2. Pelosi M. An investigation on the fluid-structure interaction of piston/cylinder interface [dissertation]. West Lafayette: Purdue University; 2012.

3. Zecchi M. A novel fluid structure interaction and thermal model to predict the cylinder block/valve plate interface performance in swash plate type axial piston machines [dissertation]. West Lafayette: Purdue University; 2013.

4. Schenk A. Predicting lubrication performance between the slipper and swashplate in axial piston hydraulic machines [dissertation]. Indiana: Purdue University; 2014.

5. Murrenhoff H, Scharf S. Wear and friction of ZRCG-coated pistons of axial piston pumps. Int J Fluid Power 2006;7(3):13–20.

6. Braun MJ, Hannon WM. Cavitation formation and modelling for fluid film bearings: a review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. 2010;224:839–863. doi:10.1243/13506501JET772

Improving the operational properties of resource-enhancing units of hydraulic drives of mobile equipment

[1]Puzanov A.V., [1]Kosorukova O.V., [1]Klevetov D.V., [2]Starostin D.A., [2]Musatov R.L.

[1]KSTA, [2]VNII Signal, Kovrov, Russia

The power hydraulic drive is one of the most common in mobile technology, especially in unmanned vehicles, due to the stepless speed control, distributed system layout, ease of organizing safety functions with gradation of protection of the main and auxiliary systems.

The most important resource-limiting units of the hydraulic drive, which determine its operational characteristics, are the tribocouples of hydraulic machines. Therefore, it is the study of physical phenomena that characterize the complex interaction of fluid and structural elements of hydraulic machines that is of decisive importance for improving existing structures and developing more efficient drives.

A wide range of external and internal factors of influence on mobile equipment and components complicates the prediction of the resource of nodes and the entire system. Non-deterministic operating conditions of mobile equipment (a wide range of climatic, power, vibration, acoustic and other influences), as well as trends in increasing their speed characteristics, lead to a wide spread in the values of resource and reliability indicators. Their analysis in order to improve with the variation of individual factors of influence, operating conditions, as well as design and technological parameters [1], is possible through a hardware-software research complex.

World trends in improving the resource characteristics of hydraulic drives are aimed at studying the interaction of a fluid with a structure with new combinations of materials and properties of microsurfaces, taking into account thermal effects [2, 3, 4], rheological properties of the working fluid [5], improving the tribological properties of mating surfaces [6], effects of cavitation [6] and transient operating modes.

The authors proposed a software and hardware complex for modeling and experimental studies of tribopairs of hydraulic machines. By means of this complex, work was carried out to minimize the possibility of direct contact and subsequent wear, the study of various combinations of materials and modification of the surface layers of tribocouplings, technological means of limiting non-stationary operating conditions of equipment leading to tribocontacts. This paper presents the main results of research on this topic.

References:

1. Puzanov, A.V. Simulation of pumping equipment performance in arctic operating conditions / A.V. Puzanov, O.O. Sukorkina, E.A. Ershov // Automation. Modern technologies. 2020, vol. 74, no. 3 - pp. 108-111.

2. Pelosi M. An investigation on the fluid-structure interaction of piston/cylinder interface [dissertation]. West Lafayette: Purdue University; 2012.

3. Zecchi M. A novel fluid structure interaction and thermal model to predict the cylinder block/valve plate interface performance in swash plate type axial piston machines [dissertation]. West Lafayette: Purdue University; 2013.

4. Schenk A. Predicting lubrication performance between the slipper and swashplate in axial piston hydraulic machines [dissertation]. Indiana: Purdue University; 2014.

5. Murrenhoff H, Scharf S. Wear and friction of ZRCG-coated pistons of axial piston pumps. Int J Fluid Power 2006;7(3):13–20.

6. Braun MJ, Hannon WM. Cavitation formation and modelling for fluid film bearings: a review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. 2010;224:839–863. doi:10.1243/13506501JET772

Исследование периодических режимов движения тела по горизонтальной шероховатой плоскости посредством относительного кругового движения двух внутренних масс

Рачков А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается движение механической системы, состоящей из твердого тела и двух подвижных масс. Твердое тело находится на горизонтальной шероховатой плоскости, опираясь на нее своей плоской гранью. Между телом и плоскостью действуют силы сухого кулоновского трения. Подвижные массы совершают внутри тела относительное движение по окружностям с общим центром, находящемся в центре масс тела. Окружности расположены в вертикальной плоскости, имеют различные радиусы, а движение внутренних масс по ним происходит в противоположных направлениях с одинаковыми угловыми скоростями кругового движения. Перемещение внутренних масс может вызвать прямолинейное поступательное движение тела по опорной плоскости.

Исследование динамики механических систем с внутренними подвижными элементами представляет интерес для разработки принципов движения и проектирования перспективных мобильных роботов. Ранее в [1,2,3,4] рассматривалось движение тела по горизонтальной шероховатой плоскости, несущего только одну перемещающуюся по окружности внутреннюю подвижную массу.

В данной работе получены уравнения прямолинейного движения тела и найдены условия, при которых за счет перемещения внутренних масс тело может начать движение из состояния покоя. Исследованы возможные периодические режимы движения тела. В частности, показано существование новых периодических режимов движения, при которых тело перемещается только в положительном или только в отрицательном направлении. Данные периодические режимы невозможны в аналогичной механической системе с одной, движущейся внутри тела по окружности, внутренней массой. В пространстве параметров задачи построены области, отвечающие различным периодическим режимам движения.

Исследование выполнено в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) за счет гранта Российского научного фонда (проекта № 19-11-00116).

Литература:

1. Бардин Б.С., Панёв А.С О поступательном прямолинейном движении твердого тела, несущего подвижную внутреннюю массу // Современная математика. Фундаментальные направления. 2019, Т. 65, №4, С. 557-592.

2. Bardin B.S., Panev A.S. On the Motion of a Body with a Moving Internal Mass on a Rough Horizontal Plane // Rus. J. Nonlin. Dyn., 2018, Vol. 14, no. 4, pp. 519-542.

3. Bardin B.S., Panev A.S. On dynamics of a rigid body moving on a horizontal plane by means of motion of an internal particle // Vibroengineering PROCEDIA, 2016, Vol. 8. pp 135-141.

4. Boris S Bardin and Alexey A Rachkov 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 1959 012005.

Investigation of periodic modes of motion of a body along a horizontal rough plane by means of relative circular motion of two internal masses

Rachkov A.A.

MAI, Moscow, Russia

The motion of a mechanical system consisting of a solid body and two moving masses is considered. A solid body is located on a horizontal rough plane, leaning on it with its flat face. Dry Coulomb friction forces act between the body and the plane. Moving masses make relative movement inside the body along circles with a common center located in the center of the body mass. The circles are located in a vertical plane, have different radii, and the movement of internal masses along them occurs in opposite directions with the same angular velocities of circular motion. The movement of internal masses can cause a rectilinear translational movement of the body along the reference plane.

The study of the dynamics of mechanical systems with internal movable elements is of interest for the development of principles of motion and the design of promising mobile robots. Previously, in [1,2,3,4], the motion of a body along a horizontal rough plane carrying only one internal moving mass moving along a circle was considered.

In this paper, the equations of rectilinear motion of the body are obtained and the conditions under which, due to the movement of internal masses, the body can begin to move from a state of rest are found. Possible periodic modes of body movement are investigated. In particular, the existence of new periodic modes of motion is shown. In these modes, the body moves only in a positive or only in a negative direction. These periodic modes are impossible in a similar mechanical system with one internal mass moving inside the body along a circle. In the space of the problem parameters, regions corresponding to various periodic modes of motion are constructed.

The work was carried out under the grant of the Russian Scientific Foundation (project No 19-11-00116) at Moscow Aviation Institute (National Research University).

References:

1. Бардин Б.С., Панёв А.С О поступательном прямолинейном движении твердого тела, несущего подвижную внутреннюю массу // Современная математика. Фундаментальные направления. 2019, Т. 65, №4, С. 557-592.
2. Bardin B.S., Panev A.S. On the Motion of a Body with a Moving Internal Mass on a Rough Horizontal Plane // Rus. J. Nonlin. Dyn., 2018, Vol. 14, no. 4, pp. 519-542.
3. Bardin B.S., Panev A.S. On dynamics of a rigid body moving on a horizontal plane by means of motion of an internal particle // Vibroengineering PROCEDIA, 2016, Vol. 8. pp 135-141.
4. Boris S Bardin and Alexey A Rachkov 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 1959 012005.

Об учете возмущений в задаче удерживания КА с солнечным парусом около точки L1 системы Земля-Луна

Родников А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время опубликовано несколько работ, например, [1], в которых устанавливается возможность стабилизации движения космического аппарата (КА), оснащенного солнечным парусом (СП), в окрестности точки либрации L1 системы Земля-Луна благодаря весьма простым законам управления положением СП. Однако, на движение КА оказывают влияние возмущающие факторы различной природы, что требует некоторой коррекции предлагаемых методов стабилизации.

В настоящем сообщении предлагается несколько другой, хотя и близкий, подход к обозначенной проблеме, позволяющий учитывать, как слабую эллиптичность орбит Луны и Земли, так и другие возмущения. При этом предполагается, что положение СП, может в процессе движения меняться на величину до нескольких градусов, что может быть реализовано, если считать СП подобием крыла самолета с закрылками и предкрылками. Кроме того, считается, что КА оснащен датчиком ускорений.

Уравнения движения КА с СП записываются в безразмерной форме во вращающейся вместе с системой Земля-Луна системе координат с началом в L1, которая в рассматриваемой ситуации не является неподвижной по отношению к Земле и Луне, в следующей форме. Левые части этих уравнений совпадают с левыми частями линеаризованных уравнений движения материальной точки в окрестности точки L1 Ограниченной круговой задачи трех тел. Правые части состоят из трех слагаемых. Первые слагаемые представляют собой периодические функции времени, описывающие гравитационное влияние Солнца в ситуации, когда орбита Луны лежит точно в плоскости эклиптики, а орбита Земли при движении вокруг Солнца – круговая. Вторые слагаемые описывают радиационное влияние Солнца, и, в случае, когда нормаль к парусу направлена неизменно к направлению солнечных лучей и к плоскости эклиптики, также являются периодическими функциями времени. Третьи слагаемые описывают все неучтенные возмущения и имеют порядок эксцентриситета орбиты Луны. Учитывая наличие датчика ускорений, эти слагаемые можно считать известными функциями времени.

Такая форма уравнений движения позволяет использовать метод малого параметра для определения параметров, определяющих положение нормали к СП через начальные скорости и ускорения КА и действующие возмущения, так, что соответствующее решение уравнений движения оказывается ограниченным при почти неизменном во времени положении СП.

Литература:

Shymanchuk, D.V., Shmyrov, A.S. & Shmyrov, V.A. Controlled Motion of a Solar Sail in the Vicinity of a Collinear Libration Point. Astron. Lett. 46, 185–192 (2020).

On Accounting of Perturbations in the Problem of a Sailed Spacecraft Holding near the Point L1 of the Earth-Moon System

Rodnikov A.V.
MAI, Moscow, Russia

Presently, the problem of stabilization of a sailed spacecraft motion near the collinear libration points in the Earth-Moon system using very simple control laws for the solar sail orientation have

been studied in a number of papers, see, for example, [1]. However, the spacecraft motion can be affected by a set of disturbing factors, which requires some correction of the proposed methods of stabilization.

In this paper, differ but close approach, accounting Moon and Earth orbits ellipticity and other perturbations, is offered, at that the possibility of the sail rotation by up to several degrees during the motion is assumed, which can be realized if the sail includes elements that work as flaps and slats of an aircraft wind. In addition, existence of an accelerometer onboard is provided.

The sailed spacecraft equation of motion in the rotating with Earth and moon coordinate system with origin in L1 is written in a dimensionless form, at that L1 is not immovable with respect to Earth and Moon. These equations left handed parts coincides with the left handed parts of the linearized equations of motion of a particle near the point L1 of the Restricted Circular Problem of Three Bodies. Each of the right handed parts consist of three terms. The first term is periodical function of time and characterizes Sun's gravitational influence as if Moon rotates exactly in ecliptic and Earth orbit is circular. The second term characterizes the solar radiation influence and also can be considered as some periodical function of time, but only if the normal to the solar sail is constantly oriented with respect to the solar rays direction and with respect to the normal to ecliptic. The third term characterizes all unaccounted perturbations and can be estimated as of order of magnitude of Moon's orbit eccentricity. Taking into account that the spacecraft real acceleration can be measured by the accelerometer at any time one can consider this term as known function of time too.

Such form of the motion equation turns out to be favorable to use the perturbation method to compute values of parameters fixing the quasi-constant orientation of the normal to the solar sail via the initial coordinates and velocities and acting disturbances so that the spacecraft trajectory remains bounded with respect to L1.

References:

Shymanchuk, D.V., Shmyrov, A.S. & Shmyrov, V.A. Controlled Motion of a Solar Sail in the Vicinity of a Collinear Libration Point. Astron. Lett. 46, 185–192 (2020).

Численно-аналитическое исследование задачи кооперативного уклонения от космического мусора

Самыловский И.А.
МГУ, г. Москва, Россия

Рассматривается динамическая система, включающая два набора объектов: управляемые – спутники и неуправляемые – элементы космического мусора (в простейшем случае рассматривается случай центрального поля силы тяжести, корректирующие импульсы направляются по осям орбитальных систем координат спутников). Для нее ставится задача оптимизации свертки максиминных функционалов, выписанных для "локальных" задач избежания столкновения в парах "спутник-мусор" и "спутник-спутник" (вслед за работами по "разведению" транспортных судов и самолетов обычно подобные задачи формулируются именно для пары динаических объектов и, кроме того, исследуется задача без фазового ограничения за счет рассмотрения отрезка времени, на котором декартово расстояние между объектами не возрастает). Эта задача сводится к стандартному виду, включающему набор фазовых ограничений, проводится ее аналитическое и численное исследование, в т.ч. с использованием программного пакета Восор с открытым исходным кодом. При этом выписывается полная система необходимых условий понтрягинского минимума в форме Дубовицкого-Милютина, исследуется поведение множителей Лагранжа. Рассматриваются задачи как в общей орбитальной плоскости, так и в трехмерном пространстве. Для моделирования полученных траекторий уклонения используется программный пакет IDE – интегрированная среда разработки космических миссий, разработанный коллективом факультета космических исследований МГУ и содержащая встроенные средства по комплексному моделированию космических группировок, учету различных возмущающих факторов и т.д.

Numerical and analytical investigation of a space debris cooperative evasion problem

Samylovskiy I.A.
Lomonosov MSU, Moscow, Russia

A dynamic system is considered that includes two sets of objects: controlled – satellites and uncontrolled – elements of space debris (in the simplest case, the case of a central gravity field is considered, corrective impulses are directed along the axes of the orbital coordinate systems of satellites). For it, the task of optimizing the convolution of maximin functionals written out for "local" collision avoidance problems in the "satellite-garbage" and "satellite-satellite" pairs is set (following the work on the "breeding" of transport ships and aircraft, such tasks are usually formulated specifically for a pair of dynamic objects and, in addition, the problem without phase separation is investigated restrictions due to consideration of the time interval at which the Cartesian distance between objects does not increase). This task is reduced to a standard form, including a set of phase constraints, its analytical and numerical study is carried out, including using the open source software package Bocop. At the same time, a complete system of necessary conditions of the Pontryaginsky minimum in the form of Dubovitsky-Milutin is written out, the behavior of Lagrange multipliers is investigated. The problems are considered both in the general orbital plane and in three-dimensional space. To simulate the obtained evasion trajectories, the IDE software package is used – an integrated space mission development environment developed by the staff of the MSU Faculty of Space Research and containing built-in tools for complex modeling of space groupings, accounting for various disturbing factors, etc.

Оценка адекватности имитационной модели рулевого электропривода его макету с применением среды Matlab

[1]Спирин А.А., [1]Норинская И.В., [2]Гуськов А.А.
[1]АНПП «Темп-Авиа», [2]АПИ НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Арзамас, Россия

При разработке технических систем широко применяют методы математического моделирования, что позволяет повысить эффективность проектирования. Актуальная задача оценки адекватности имитационных моделей реальным техническим объектам успешно решается в среде Matlab.

В данной работе использованы макетный образец рулевого электропривода и его модель, составленная в среде Matlab. В исследовании на вход модели и макета были поданы следующие тестовые сигналы: ступенчатое воздействие переменной амплитуды, гармоническое воздействие переменной амплитуды и частоты. По выходным сигналам выполнена оценка частотных характеристик макета и модели привода. Для этого использованы функции Matlab – spa() и bodeplot(), которые реализуют переход из временной в частотную область на основе преобразования Фурье.

Результаты исследования показали, что реакция модели на входное воздействие отличается от реакции макета, что может быть вызвано отклонением параметров привода от номинальных, заложенных в модель, либо неточностью самой модели.

Для уточнения характеристик привода, использованных при моделировании, применен модуль Matlab Parameter Estimation. В качестве входных данных модуль использует имитационную модель рулевого привода, набор экспериментальных данных, а также набор параметров электропривода, для которых допустимо отклонение от номинальных. При настройке инструмента Parameter Estimation назначены пределы отклонения некоторых параметров электропривода не более чем на 20%.

Используя итерационный алгоритм, заложенный в модуле Parameter Estimation, получено практически полное совпадение реакций модели и макета на тестовые воздействия. При этом уточненные параметры привода имели отклонение от номинальных на величину не более 8%. В качестве критерия близости откликов модели и макета на тестовые воздействия использовано среднеквадратическое отклонение. Уточнение параметров привода позволило уменьшить среднеквадратическое отклонение на 20 % и составило не более 0,06.

Сравнение частотных характеристик модели и макета выполнено в Matlab с помощью функции compare(), которая позволяет рассчитать критерий адекватности. После уточнения параметров модели критерий адекватности составил 96,4 %.

По результатам исследования был сделан вывод об адекватности имитационной модели рулевого электропривода его макету, а исходное отличие результатов экспериментов и моделирования вызвано неточностью номинальных значений параметров, заложенных в модель.

Assessment of adequacy for the simulation model of the steering electric drive to its layout using the Matlab environment

[1]Spirin A.A., [1]Norinskaya I.V., [2]Guskov A.A.
[1]ARPE “TEMP-AVIA”, [2]Arzamas Polytechnical University, Branch of Nizhny Novgorod State Technical University, Arzamas, Russia

Mathematical modeling methods are widely used in the development of technical systems, which makes it possible to increase the efficiency of design. The actual task of assessing the adequacy for simulation models to real technical objects is successfully solved in the Matlab environment.

In this work, a layout sample of an electric steering drive and model, complied in the Matlab environment, are used. In the study, the following test signals were applied to the input of the model and layout: stepwise effect of variable amplitude, harmonic effect of variable amplitude and frequency. Based on the output signals, the frequency characteristics of the layout and the drive model were evaluated. To do this, the Matlab – spa() and bodeplot() functions are used , which implement the transition from the time domain to the frequency domain based on the Fourier transform.

The results of the study showed that the reaction of the model to the input effect differs from the reaction of the layout, which may be caused by a deviation of the drive parameters from the nominal ones embedded in the model, or by the inaccuracy of the model itself.

To clarify the characteristics of the drive used in the simulation, the Matlab Parameter Estimation module was used. As input data, the module uses a simulation model of the steering drive, a set of experimental data, as well as a set of electric drive parameters for which a deviation from the nominal values is permissible. When setting up the Parameter Estimation tool, the deviation limits of some parameters for the electric drive are assigned by no more than 20%.

Using an iterative algorithm embedded in the Parameter Estimation module, an almost complete coincidence of the model and layout reactions to the test effects was obtained. At the same time, the refined drive parameters had a deviation from the nominal values by no more than 8%. The standard deviation was used as a criterion for the proximity of the model and the layout responses to the test effects. The refinement of the drive parameters made it possible to reduce the standard deviation by 20% and amounted to no more than 0.06.

The comparison of the model and the layout frequency characteristics is performed in the Matlab using the compare () function, which allows you to calculate the adequacy criterion. After clarifying the model parameters, the adequacy criterion was 96.4%.

According to the results of the study, a conclusion was made about the adequacy for the simulation model of the steering electric drive to its layout, and the initial difference between the results of experiments and modeling is caused by the inaccuracy of the nominal values for the parameters embedded in the model.

Алгоритм исключения "плохих" расчетных ячеек для моделирования процесса обледенения крыла самолета

Стрижак С.В., Кошелев К.Б., Осипов А.В.
ИСП РАН, г. Москва, Россия

Изучение вопросов обледенения летательных аппаратов является актуальной задачей. В процессе решения задачи необходимо построение расчетной сетки. В результате построения сетки могут возникать так называемые некачественные или "плохие" ячейки, которые имеют неортогональные грани и плохое соотношение для размеров ребер. Подобные ячейки могут приводить к неправильному росту льда и аварийному завершению решателя.

Для моделирования обледенения используется решатель iceFoam, разработанный в ИСП РАН. В решателе реализован Эйлер-Лагранжев подход для моделирования потока и обледенения. В решателе используется две сетки: эйлеровая внешняя сетка для моделирования газового потока и внутренняя сетка для моделирования термодинамических процессов в пленке, расположенной на поверхности тела.

Для решения проблемы "плохие ячейки" был разработан алгоритм. Сформулируем основные этапы алгоритма:

Перед запуском проекта необходимо выполнить команду проверки качества сетки для получения файлов с "плохими" гранями.

1. Получаем список узлов пленки, граничащих с эйлеровой сеткой.

2. Получаем список узлов пленки, не граничащих с эйлеровой сеткой.

3.1 Считываем из всех файлов каталога для пленки номера "плохих" граней в общий список.

3.2 Из списка номеров "плохих" граней удаляем повторяющиеся.

4.1 На основе списка номеров "плохих" граней формируем список номеров "плохих" узлов области пленки, граничащих с эйлеровой сеткой.

4.2 Из списка номеров, полученного в предыдущем пункте удаляем повторяющиеся.

5.1. Формируем список номеров "плохих" узлов области пленки, не граничащих с эйлеровой сеткой, но имеющих ребро с "плохими" узлами. Они указаны в списке, полученном в п. 4.2.

5.2 Из списка номеров, полученного в предыдущем пункте удаляем повторяющиеся.

6. Удаляем из списка узлов пленки из п. 1 все "плохие" узлы с номерами, полученными в п. 4.2.

Таким образом, остаются только "хорошие" узлы пленки, граничащие с эйлеровой сеткой.

7. Удаляем из списка узлов пленки из п.2 все "плохие" узлы с номерами, полученными в п.5.2.

Таким образом, только "хорошие" узлы пленки, будут при необходимости подвергаться изменению своих координат при нарастании льда.

Приведенный алгоритм выполняется только один раз перед началом расчета.

Данный подход позволяет при построении сетки сосредоточиться на ее качестве у передней кромки и меньше уделять внимание качеству сетки пленки у задней кромки крыла. Возможное незначительное нарастание льда у задней кромки крыла, с одной стороны, мало влияет на общую картину, с другой стороны, может привести к краху работы решателя при попытке смещения узлов «плохой» ячейки.

Для тестирования рассматривалась задача моделирования обтекания стреловидного крыла самолета X-59 дозвуковым потоком. Расчетная сетка имела от 1 до 4.5 млн. ячеек. Получены результаты распределения толщины льда по поверхности крыла и масса льда.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-13016.

Algorithm for eliminating "bad" numerical cells to simulate the process of aircraft wing icing

Strijhak S.V., Koshelev K.B., Osipov A.V.
ISP RAS, Moscow, Russia

The study of aircraft icing is an urgent task. In the process of solving the problem it is necessary to construct a computational mesh. The unstructured mesh generator can result in so-called 'bad' cells, which have non-orthogonal edges and poor edge size ratios. Such computational cells can lead to incorrect ice growth and crash the solver.

The iceFoam solver developed at ISP RAS is used to simulate ice accreation. The solver implements an Euler-Lagrange approach to simulate gas-drop flow and icing. Two meshes are used to simulate the flow. Euler outer mesh to simulate gas flow and inner mesh to simulate thermodynamic processes in the film located on the surface of the body.

A computational algorithm has been developed to solve the problem of "bad" cells. Let us briefly formulate the main steps of algorithm:

Before running the project, a mesh check command has to be run to obtain files with "bad" faces.

1. Obtain list of film nodes bordering Eulerian mesh.

2. Obtain list of film nodes not bordering Eulerian mesh.

3.1 Read from all files of service directory for film numbers of "bad" faces to general list.

3.2 Remove repeating numbers from the list of "bad" faces.

4.1 Form a list of numbers of bad faces on basis of list numbers
of "bad" nodes of film area, bordering Eulerian mesh.

4.2 Delete from list of numbers obtained in previous step repeating ones.

5.1 Form a list of numbers of "bad" nodes of film area that do not bounding the Eulerian mesh, but have an edge with "bad" nodes. They are specified in list obtained in item 4.2.

5.2 Delete from numbers obtained in the previous item repetitive ones.

6. Remove from list of film nodes from step 1 all "bad" nodes with numbers obtained in step 4.2.
This leaves only "good" nodes of film bordering Eulerian mesh.

7. Remove from list of film nodes from step 2 all "bad" nodes with numbers obtained in step 5.2.

Thus, only 'good' film nodes, will undergo a change in their coordinates if necessary as the ice builds up.

A possible slight build-up of ice at trailing edge of wing, on one hand, has little effect on overall picture, but on the other hand can cause solver to crash when attempting to shift 'bad' cell nodes.

For testing purposes, we consider the problem of simulating flow around the swept wing of the X-59 aircraft with a subsonic flow. The computational grid had from 1 million to 4.5 million cells. The results of ice thickness distribution over the wing surface and ice mass have been obtained.

The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research under the scientific project No. 19-29-13016.

Особенности реализации технологии перекрывающихся сеток на примере открытой библиотеки для задачи с вращающимися телами

[1]Суханов Д.Б., [2]Стрижак С.В.
[1]МАИ, [2]ИСП РАН, г. Москва, Россия

В некоторых задачах аэродинамики необходимо рассчитывать газокапельный поток с учетом влияния вращения твердых тел. Для моделирования используют технологию перекрывающихся сеток.

Применение технологии известно для подвижных сеток, измельчения сеток и добавления, удаления тел в расчетной области. Это достигается с помощью подхода, когда мы окружаем каждый объект собственной сеткой, так чтобы сетка перекрывалась с другими стационарными или движущимися сетками.

Вводится специальная терминология:

• Доноры: ячейки, которые обеспечивают значения величин;

• Акцепторы: это ячейки, значения которых устанавливаются в результате процедуры интерполяции;

• Пустые ячейки: ячейки, в которых расчет не выполняется;

• Зона сетки: поле для обозначения потенциально перекрывающихся областей сетки;

• Перекрывающиеся границы: границы рядом с ячейками, которые подлежат интерполяции.

Основной принцип технологии перекрывающихся сеток заключается в решении базовых уравнений как на фоновой, так и на перекрывающейся сетках.

В фоновой сетке ячейки помечаются как пустые ячейки и удаляются из вычислительной области. Значения на перекрывающейся границе затем интерполируются на фоновую сетку.

Целью интерполяции является точная передача информации между сетками. Если решение хорошо представлено на всех сетках, точность метода будет не хуже, чем для одной сетке. К сожалению, так происходит не всегда и ошибки, вызванные интерполяцией, влияют на общую точность решения. Когда решение недостаточно хорошо представлено на перекрывающихся сетках, возникает глобальный дисбаланс массы.

Для однофазных потоков влияние неконсервативных методов интерполяции проявляется в виде нефизических осцилляций. Для двухфазных потоков с большой разницей в плотности эффект интерполяции проявляется в виде исчезновения одной из фаз с течением времени.

Рассмотрен метод линейной интерполяции inverseDistance и его модификация neighborInverseDistance. Первый метод использует весовую схему, основанную на обратных расстояниях от акцептора до доноров. В результате интерполируемая величина изменяется обратно-пропорционально расстоянию между ячейками.

Второй метод увеличивает число донорных ячеек, для которых величина интерполируется по логарифмическому закону. Интерполируемая величина пропорциональна минус логарифму расстояния от акцептора до донора.

Тестирование проведено для задачи с двумя вращающимися пластинами в каверне с несжимаемой жидкостью с использованием решателя overPimpleDyMFoam в составе открытой библиотеки OpenFOAM.

Features of implementation technology of overlapping grids on example of open source library for problem with rotating bodies

[1]Sukhanov D.B., [2]Strijhak S.V.
[1]MAI, [2]ISP RAS, Moscow, Russia

It is necessary to calculate the gas droplet flow taking into account the effect of solid rotation in some aerodynamics problems. Overlapping grid technology is used for modelling purposes.

The application of the technology is known for moving, refining meshes and adding, removing bodies in computational domain. This is achieved using an approach where we surround each object with its own mesh, so that the mesh overlaps with other stationary or moving meshes.

Specific terminology is introduced:

- Donors: are cells that provide values of values;
- Acceptors: are cells whose values are set as a result of an interpolation procedure;
- Empty cells: cells in which no calculation is performed;
- Grid area: a field for designating potentially overlapping grid areas;
- Overlapping boundaries: boundaries next to cells to be interpolated.

The basic principle of overlapping mesh technology is to solve the basic equations on both background and overlapping meshes.

In background grid, cells are marked as empty cells and removed from computational domain. The values on the overlapping boundary are then interpolated onto background grid.

The purpose of interpolation is to transfer information accurately between grids. If the solution is well represented on all meshes, the accuracy of the method will be as good as for a single grid. Unfortunately, this is not always the case, and errors caused by interpolation affect the overall accuracy of the solution. When the solution is not well represented on overlapping meshes, a global mass imbalance occurs.

For single-phase flows, the effect of non-conservative interpolation techniques is seen in the form of non-physical oscillations. For two-phase flows with large density differences the interpolation effect appears as disappearance of one of the phases with time.

The InverseDistance linear interpolation method and its modification neighborInverseDistance are considered. The first method uses a weighting scheme based on inverse distances from acceptors to donors. As a result, the interpolated value changes inversely proportional to the distance between the cells.

The second method increases the number of donor cells for which the value is interpolated logarithmically. The interpolated value is proportional minus the logarithm of the distance from acceptor to donor.

Testing has been performed for problem with two rotating plates in cavity with incompressible flow using overPimpleDyMFoam solver within OpenFOAM open source library.

Анализ орбитальной устойчивости семейств периодических движений в плоской круговой ограниченной задаче четырех тел

Сухов Е.А., Волков Е.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается движение тела малой массы в гравитационном поле трёх основных притягивающих тел с массами, намного превосходящими массу малого тела. Основные тела взаимодействуют по закону всемирного тяготения, расположены в одной плоскости, движутся по круговым орбитам с центром в центре масс системы и образуют так называемую лагранжеву конфигурацию, т.е. все время находятся в вершинах равностороннего треугольника. Предполагается, что массы двух основных тел равны, а лагранжева конфигурация устойчива по Ляпунову. В движущейся вместе с основными телами системе координат существуют положения относительного равновесия малого тела, которые соответствуют так называемым центральным конфигурациям, когда все четыре тела движутся в одной плоскости и образуют четырехугольник неизменной формы и размеров. Положения относительного равновесия тела малой массы будем называть точками либрации ограниченной задачи четырех тел. Анализ устойчивости по Ляпунову указанных точек либрации был проведён в работе [1].

В данной работе были построены семейства периодических движений тела малой массы, рождающиеся из устойчивых точек либрации. Вблизи точек либрации указанные периодические решения были получены аналитически, а затем при помощи численного алгоритма [2], который основан на методике работ [3] и [4], были продолжены до границ областей их существования. В рамках реализации алгоритма также была исследована орбитальная устойчивость периодических решений в линейном приближении. Результаты исследования представлены в виде диаграмм существования и устойчивости данных периодических решений.

Исследование выполнено в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-21-00729).

Литература:

1. Bardin B.S., Volkov E.V. Stability Study of a Relative Equilibrium in the Planar Circular Restricted Four-Body Problem. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 927, 2020.

2. Бардин Б. С., Сухов Е. А. Об алгоритме продолжения по параметрам семейств периодических движений автономной гамильтоновой системы с двумя степенями свободы. Тез. докл. LIV Всероссийской конференции по проблемам динамики, физики частиц плазмы и оптоэлектроники. РУДН. Москва: 2018. С. 198–202.

3. Каримов С. Р., Сокольский А. Г. Метод продолжения по параметрам естественных семейств периодических движений гамильтоновых систем. Препринт. ИТА АН СССР. № 9. 1990. С. 32.

4. Deprit A., Henrard J. Natural Families of Periodic Orbits. Astronomical Journal. 1967. Vol. 72. no. 2. P. 158–172.

Analysis of the Orbital Stability of Families of Periodic Motions in the Plane Circular Restricted Four-Body Problem

Sukhov G.A., Volkov E.V.
MAI, Moscow, Russia

The motion of a body of small mass in the gravitational field of three main attracting bodies with masses far exceeding the mass of a small body is considered. The main bodies interact according to the law of universal gravitation, are located in the same plane, move in circular orbits with the center at the center of mass of the system and form the so-called Lagrangian configuration, i.e. are always at the vertices of an equilateral triangle. It is assumed that the masses of the two main bodies are equal, and the Lagrangian configuration is Lyapunov stable. In the coordinate system moving together with the main bodies, there are positions of relative equilibrium of a small body that

correspond to the so-called central configurations, when all four bodies move in the same plane and form a quadrangle of the same shape and size. The positions of relative equilibrium of a body of small mass will be called libration points of the restricted four-body problem. An analysis of the Lyapunov stability of these libration points was carried out in [1].

In this work, families of periodic motions of a body of small mass, born from stable libration points, were constructed. Near the libration points, these periodic solutions were obtained analytically, and then, using a numerical algorithm [2], which is based on the technique of [3] and [4], they were extended to the boundaries of their existence regions. As part of the implementation of the algorithm, the orbital stability of periodic solutions was also studied in a linear approximation. The results of the study are presented in the form of diagrams of the existence and stability of these periodic solutions.

This work was supported by the grant of the Russian Scientific Foundation (project No. 22-21-00729) at the Moscow Aviation Institute (National Research University).

References:

1. Bardin B.S., Volkov E.V. Stability Study of a Relative Equilibrium in the Planar Circular Restricted Four-Body Problem. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 927, 2020.

2. Бардин Б. С., Сухов Е. А. Об алгоритме продолжения по параметрам семейств периодических движений автономной гамильтоновой системы с двумя степенями свободы. Тез. докл. LIV Всероссийской конференции по проблемам динамики, физики частиц плазмы и оптоэлектроники. РУДН. Москва: 2018. С. 198–202.

3. Каримов С. Р., Сокольский А. Г. Метод продолжения по параметрам естественных семейств периодических движений гамильтоновых систем. Препринт. ИТА АН СССР. № 9. 1990. С. 32.

4. Deprit A., Henrard J. Natural Families of Periodic Orbits. Astronomical Journal. 1967. Vol. 72. no. 2. P. 158–172.

Методика расчета развития ударного повреждения в слоистом углепластике под действием циклических нагрузок

Турбин Н.В., Шелков К.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Использование слоистых полимерных композиционных материалов (ПКМ) в первичных конструкциях самолета требует обоснования прочности. В то же время, расчетные методы обоснования прочности для конструкций из ПКМ получили развитие в основном по направлению статической прочности. Таким образом, выполнение требований к конструкции со стороны усталостной прочности остается задачей эксперимента. В частности, недостаток надежных методов оценки усталостной долговечности элементов из ПКМ приводит к использованию идеологии проектирования конструкции, запрещающей развитие повреждений в элементе конструкции из ПКМ на протяжении всего назначаемого ресурса (no growth approach). На практике это выражается в излишне консервативных критериях проектирования по статической прочности. В такой конструкции уровень действующих напряжений, возникающий в условиях эксплуатации, не приводит к возникновению явлений усталостной деградации свойств материала.

Для реализации принципа проектирования, учитывающего медленный рост повреждения в композите (slow growth approach), и, с этим, увеличения весовой эффективности использования ПКМ в силовой конструкции планера самолета требуется следующее:

- Разработка метода расчета величины и распределения повреждения в элементе из ПКМ, полученного вследствие ударного воздействия.
- Разработка метода расчета развития повреждения элемента из ПКМ в ходе цикла эксплуатационной нагрузки в зоне ударного воздействия.
- Разработка метода расчета развития повреждения элемента из ПКМ в зоне ударного воздействия в зависимости от количества приложенных эксплуатационных циклов нагружения.

• Соответствие картины распределения повреждения в элементе из ПКМ, полученной методами НК при плановых осмотрах и полученного при использовании расчетного метода.

Полученные расчетным путем характеристики длительностей и скоростей развития ударных повреждений в панели могут использоваться при уточнении необходимых периодов между осмотрами и анализа картин распределения повреждений, полученных методами неразрушающего контроля. Точные расчетные оценки статической и усталостной прочности на сжатие после удара могут использоваться при выборе укладок и толщин на предварительном этапе проектирования, что позволит снизить степень консерватизма итоговых запасов прочности элементов конструкции из ПКМ, то есть веса.

В настоящей работе предлагается методика расчета развития ударного повреждения в гладкой панели из слоистого углепластика под действием сжимающих циклических нагрузок. Представлено решение задачи расчета скорости и длительности роста ударного повреждения в панели из ПКМ, для которых введена обобщенная мера ударного повреждения на основе осреднения повреждения по различным модам разрушения.

Analysis method for post-impact damage development in carbon fibre reinforced laminate under repeated loading

Turbin N.V., Shelkov K.A.
MAI, Moscow, Russia

Laminated polymer composite materials (PCM) use in load-bearing structures requires demonstration of compliance to strength worthiness criteria. Meanwhile, analysis methods for ensuring strength requirements to composite structures mainly developed in the field of static strength calculation. This way, durability is proved via testing evidence only. In particular, lack of reliable analysis methods for assessment of composite structure performance leads to prohibition of damage propagation in material during all service life, known as “no growth approach”. In practice this design principle manifests itself in over-conservative margins of safety in resulting laminates, originated from static strength criteria. In such a structure, operating stress level doesn’t influence the damage state in material and mechanical properties degradation doesn’t occur at all.

For implementation of less strict design concept, known as “slow growth approach”, which accounts for controlled damage propagation in composite material and consequently more weight-efficient laminate design of load-bearing airframe, the following is needed:

• Development of the analysis method for amount and distribution of impact damage in the composite material made element of structure.

• Development of analysis method for post-impact damage propagation under single load cycle in the damaged zone.

• Development of analysis method for post-impact damage propagation under series of repeated loads.

• Development of the procedure for matching the damage distribution obtained with non-destructive testing and the analysis methodology.

Derived duration and rate of propagation for post-impact damage might be used during service intervals periods and for interpretation of non-destructive testing images. Accurate predictions of after-impact static and fatigue strength of the composite structure based on analysis method could be utilized during preliminary choice of stacking sequence and thickness of laminates in the structure, which would lead to more effective design with less excessive ply number penalty and hence structural weight reduction.

In the current work, analysis method for obtaining post-impact damage propagation under cyclic compressive load in flat carbon fibre reinforced plastic (CFRP) panel is presented. The solution for damage propagation duration and rate is given, based on the introduced generalized measure of impact damage.

Описание модели эволюции звезд на основе общей теории предельных состояний в природных системах

Фадеев Д.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Вопросы эволюции звезд достаточно давно занимают ученых, однако они так до конца и не решены. Предлагаемые модели, которые ранее считались корректными, по мере накопления новых наблюдательных данных, либо остаются неизменными, либо пересматриваются, либо полностью отбрасываются. В этих условиях применение обычных общепринятых методов математического моделирования является уже недостаточным. В этой связи использование принципиально новых методик, которые помогут уменьшить степень сложности моделируемого объекта за счет наименьшего числа исчисляемых параметров, является актуальной задачей.

Цель работы: применить новые подходы описания основных этапов эволюции звезд с точки зрения современных научных направлений. Одним из них является дистортность как универсальная методика оценки различных предельных состояний в природных системах.

В работе описывается новый подход отображения этапов эволюции звезд, основанный на общей теории инвариантов предельных состояний природных систем, которая предложена авторами. На основе предлагаемого подхода диаграмма Герцшпрунга-Рассела (по спектральному классу и звездной величине) была приведена к нормализованному виду.

Нанесение на диаграмму основных предельных уровней напряженно-деформированных состояний (НДС) позволило установить закономерности между существующими последовательностями звезд (сверхгиганты, яркие гиганты и т.д.) и параметрами НДС, что дало возможность классифицировать критические моменты (уровни) эволюционного перемещения звезд с одной последовательности на другую и описать их положение на диаграмме Герцшпрунга-Рассела одним параметром нелинейности ХА.

Таким образом, создана модель, отображающая эволюцию звезды на всех ее основных этапах. На основе предлагаемого критерия предельных НДС параметра ХА, модель позволяет оценить “энергетическое” состояние звезды в текущем моменте и предвидеть ее поведение в будущем.

Creation a model of stellar evolution based on the general theory of limit states in natural systems

Fadeev D.V.
MAI, Moscow, Russia

The questions of the evolution of stars have been occupied by scientists for a long time, but they have not been fully resolved. The proposed models that were previously considered correct, as new observational data accumulate, either remain unchanged, are revised, or are completely discarded. Under these conditions, the use of conventional conventional methods of mathematical modeling is no longer sufficient. In this regard, the use of fundamentally new techniques that will help reduce the degree of complexity of the simulated object due to the smallest number of calculated parameters is an urgent task.

The purpose of the work: to apply new approaches to describe the main stages of the evolution of stars from the point of view of modern scientific directions. One of them is distortion as a universal method for assessing various limiting states in natural systems.

The paper describes a new approach to mapping the stages of stellar evolution based on the general theory of invariants of limit states of natural systems, which is proposed by the authors. Based on the proposed approach, the Hertzsprung-Russell diagram (by spectral class and stellar magnitude) was reduced to a normalized form.

Drawing on the diagram of the main limiting levels of stress-strain states (VAT) allowed us to establish patterns between the existing sequences of stars (super giants, bright giants, etc.) and the parameters of VAT, which made it possible to classify the critical moments (levels) of the evolutionary movement of stars from one sequence to another and describe their position on the Hertzsprung-Russell diagram with one the parameter of nonlinearity XA.

Thus, a model has been created that reflects the evolution of a star at all its main stages. Based on the proposed criterion of the limiting VAT of the parameter XA, the model allows us to estimate the "energy" state of the star at the current moment and to anticipate its behavior in the future.

Аналитическое решение для термонапряженной двуслойной упругой полосы

Хоа Ван Донг, Зверяев Е.М., Пыхтин А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Напряженно-деформированное состояние прямоугольной полосы, отвечающее стационарному полю температуры в ней, моделируется классическими уравнениями теории упругости. Решение ищется аналитически. В основе построения – метод Сен-Венана – Пикара – Банаха интегрирования уравнений упругости тонкостенных систем (SVPB).

Сущность метода включает сведение известного полуобратного метода Сен-Венана [1] к итерационному: определяются все искомые величины с последующим вычислением уточняющей поправки, характеризующей степень точности начального приближения. В итерационном методе SVPB применительно к задаче о плоском деформированном состоянии исходная система уравнений преобразуется к виду, напрямую определяющему каждую из искомых величин через остальные. Выбор в качестве начального приближения двух из четырех присутствующих произволов интегрирования позволяет рассматривать оператор как итерационный (что является расширением классического подхода), а набор из четырех произволов интегрирования (функции одной продольной координаты) – как новые основные неизвестные, через которые находятся все остальные.

Элемент метода простых итераций, реализуемый в SVPB, обобщает метод Пикара решения дифференциальных уравнений первого порядка, разрешенных относительно производной [2]. Существование и единственности решения определяются принципом сжатых отображений (теоремой Банаха о неподвижной точке [3, 4]).

Возможность получения решения в аналитическом виде обеспечивается применением асимптотического подхода с использованием малого параметра тонкостенности. Форма решения для четырех основных неизвестных функций находится выполнением дифференциальных соотношений граничных условий на лицевых сторонах полосы, константы интегрирования – удовлетворением условий на торцах. Дополнительным результатом являются асимптотические оценки компонент решения: медленно меняющихся и «быстрых» (типа краевого эффекта).

Литература:

1. Ляв А. (1935) Математическая теория упругости, Изд-во ОНТИ, Москва-Ленинград.

2. Камке Е. (1984) Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям, Из-во Мир, Москва.

3. А.Н. Колмогоров, С. В. Фомин. (1976) Элементы теории функций и функционального анализа, Из-во Наука, Москва.

4. Зверяев Е.М. (2019) Метод Сен-Венана–Пикара–Банаха интегрирования уравнений теории упругости тонкостенных систем // ПММ. 2019. Т. 83, № 5–6. С. 823–833.

Analytical solution for thermally stressed two-layer elastic strip

Hoa Van Dong, Zveryaev E.M., Pykhtin A.V.
MAI, Moscow, Russia

The stress-strain state of a rectangular strip corresponding to a stationary temperature field in it is modeled by classical equations of elasticity theory. The solution is sought analytically. The construction is based on the Saint-Venant-Picard–Banach method of integrating the elasticity equations of thin–walled systems (SVPB).

The essence of the method includes the reduction of the well-known Saint-Venant semi-inverse method [1] to an iterative one: all the required values are determined, followed by the calculation of a correction characterizing the degree of accuracy of the initial approximation. In the iterative SVPB method, in relation to the problem of a plane deformed state, the initial system of equations is transformed to a form that directly determines each of the desired quantities through the rest. The

choice of two of the four present arbitrarinesses of integration as an initial approximation allows us to consider the operator as an iterative one (which is an extension of the classical approach), and a set of four arbitrary integrations (functions of one longitudinal coordinate) as new basic unknowns through which all the others are located.

The element of the simple iteration method implemented in SVPB generalizes the Picard method for solving first-order differential equations resolved with respect to the derivative [2]. The existence and uniqueness of the solution are determined by the contraction mapping principle (Banach's fixed point theorem [3, 4]).

The ability of obtaining a solution in an analytical form is provided by the use of an asymptotic approach using a small thin-wall parameter. The form of the solution for the four main unknown functions is the fulfillment of differential relations of boundary conditions on the front sides of the strip, the integration constant is the satisfaction of conditions at the ends. An additional result is asymptotic estimates of the components of the solution: slowly varying and "fast" one (of the edge effect type).

References:

1. Love A.E.H. (1927) A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 662 p.

2. Kamke E. (1942), Differentialgleichungen. Lösungsmethoden und Lösungen I. Gewöhnliche Differentialgleichungen, Leipzig. 642 p. (in Deutsch).

3. Kolmogorov A. N., Fomin S.V. (1999) Elements of the Theory of Functions and Functional Analysis, Dover Publications; Dover Books on Mathematics edition, 128 p.

4. Zveryaev E.M. (2019) Saint-Venant–Picard–Banach Method for Integrating Thin-Walled Systems Equations of the Theory of Elasticity // PMM. 2019. Vol. 83, No. 5-6. pp. 823-833.

О предельных режимах движения твердого тела по горизонтальной шероховатой поверхности посредством перемещения двух внутренних масс

Чекина Е.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается твердое тело (корпус), движущееся в вертикальной плоскости по горизонтальной шероховатой поверхности. Между корпусом и опорной поверхностью действует сила сухого кулоновского трения. Движение тела происходит за счет относительного перемещения двух внутренних масс по взаимно перпендикулярным направляющим, расположенным в вертикальной плоскости. Считается, что сами массы движутся по гармоническому закону с одинаковыми частотами, но разными фазами и амплитудами, а параметры задачи взяты таким образом, что не допускают отрыва корпуса от поверхности. В результате перемещения внутренних масс тело может начать движение по опорной поверхности. Ранее в работе[1] исследовался вопрос о существовании режимов с периодически меняющейся скоростью. В пространстве параметров задачи были построены области, отвечающие различным типам таких периодических движений.

В данной работе исследуется вопрос о единственности и предельном характере режимов движения с периодически меняющейся скоростью. Установлено, что периодические режимы движения с интервалами покоя являются предельными режимами, на которые корпус выходит за конечный промежуток времени. Кроме того, показано, что при фиксированных значениях параметров, независимо от выбора начальной скорости, корпус выходит на единственный предельный периодический режим движения. Полученные выводы хорошо согласуются с результатами численного моделирования движения системы. На основе численного моделирования было также установлено, что периодический режим движения без интервалов покоя является предельным режимом, к которому движение корпуса приближается асимптотически.

Исследование выполнено в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-11-00116).

Литература:

1. Evgeniya A Chekina, “Periodic body motions along a horizontal rough surface by moving two internal masses”, IOP Publishing, Journal of Physics: Conference Series 1959 (2021) 012014 doi:10.1088/1742-6596/1959/1/012014.

On the limiting modes of a rigid body motion along a horizontal rough surface by moving two internal masses

Chekina E.A.
MAI, Moscow, Russia

We consider the motion of a rigid body in a vertical plane along a horizontal rough plane. The force of dry Coulomb friction acts between the body and the supporting surface. The motion of the body occurs due to the relative movement of two internal masses along mutually perpendicular guides located in a vertical plane. It is believed that the masses themselves move according to a harmonic law with the same frequencies, but different phases and amplitudes, and the parameters of the problem are taken in such a way that they do not allow the body to be separated from the surface. As a result of the motion of internal masses, the body can begin to move along the supporting surface. Previously, in [1], the question of the existence of modes with a periodically varying velocity was studied. In the parameter space of the problem, regions corresponding to various types of such periodic motions were constructed.

In this paper, we study the question of the uniqueness and limiting nature of the modes of motion with a periodically varying velocity. It has been established that periodic modes of motion with intervals of rest are the limiting modes, to which the body goes beyond a finite period. In addition, it is shown that for fixed values of the parameters, regardless of the choice of the initial velocity, the body reaches the only limiting periodic mode of motion. The obtained conclusions are in good agreement with the results of numerical simulation of the motion of the system. Based on numerical simulation, it was also found that the periodic mode of motion without rest intervals is the limiting mode, to which the movement of the body approaches asymptotically.

The study was carried out at the Moscow Aviation Institute (National Research University) with a grant from the Russian Science Foundation (project no. 19-11-00116).

References:

1. Evgeniya A Chekina, “Periodic body motions along a horizontal rough surface by moving two internal masses”, IOP Publishing, Journal of Physics: Conference Series 1959 (2021) 012014 doi:10.1088/1742-6596/1959/1/012014.

Исследование контактного взаимодействия при высокоскоростном до 7 М ударе твердого тела с плоской преградой

Черных А.С., Астахов С.А., Непомнящий Г.К.
ФКП «ГкНИПАС имени Л.К.Сафронова», г. Москва, Россия

Задачи динамического нагружения твердых тел встречаются во многих областях человеческой деятельности. Это и задачи защиты солнечных батарей от космического мусора и астероидов, и высокоскоростное столкновение движущихся летательных аппаратов, и разрушение хрупких материалов, когда элементы материала подвергаются значительным деформациям и внутренней перестройке.

Основными прикладными задачами исследований являются: разрушение и фрагментация преграды, вид разрушения, процессы откольного разрушения, величины перегрузок, интегральные силы сопротивления внедрению, конечные глубины проникновения, скорости при сквозном разрушении твердых тел, исследования влияния армирования на процессы разрушения, конфигурации зоны ударного взаимодействия, движения твердого тела в преграде и запреградном пространстве. [1]

С изменением параметров ударяющего тела и свойств преграды существенно меняются механизмы разрушения. Поэтому моделирование данных процессов является весьма актуальной задачей. Моделирование процессов проникновения и разрушения, как правило, выполняется, вследствие их сложности и взаимосвязанности, численными методами, методом конечных элементов [2–5] и методом гладких (сглаженных) частиц. [6, 7]

Рассмотрены различные методы математического моделирования с использованием различного программного обеспечения (ПО) для выбора оптимального ПО и метода для исследования контактного взаимодействия при высокоскоростном до 7 М ударе твердого тела с плоской преградой.

1. Глушак, Б.Л. Разрушение деформируемых сред при импульсных нагрузках / Б.Л. Глушак, А.И. Рузанов, А.И. Садырин и др. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 1992.

2. Теория упругости, перев с англ., Тимошенко С.П., Гудьер Дж., Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука». 1975 г., стр. 576.

3. Биргер И. А., Мавлютов Р. Р. Сопротивление материалов: Учебное пособие. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.— 560 с.

4. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган. – М.:Мир, 1986.

5. Зенкевич, О. Метод конечных элементов технике. Перевод с английскгого под редакцией Б.Е Победри, издательство «Мир» Москва, 1975.

6. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы для инженеров: Учеб. пособие. — М.: Высш. шк., 1994. — 544 с.

7. Потапов А.П. Численное моделирование высокоскоростных соударений деформируемых тел методом сглаженных частиц, Москва 2009.

Investigation of contact interaction at high-speed up to 7 M impact of a solid body with a flat barrier

Chernykh A.S., Astakhov S.A., Nepomniashchii G.K.
NIPAS named after L.K.Safronov, Moscow, Russia

The problems of dynamic loading of solids are found in many areas of human activity. These are the tasks of protecting solar panels from space debris and asteroids, and the high-speed collision of moving aircraft, and the destruction of fragile materials when the elements of the material undergo significant deformations and internal restructuring.

The main applied research tasks are: the destruction and fragmentation of the barrier, the type of destruction, the processes of breakaway destruction, the magnitude of overloads, integral forces of resistance to penetration, finite penetration depths, velocities during through destruction of solids, studies of the effect of reinforcement on the destruction processes, the configuration of the zone of impact interaction, the movement of a solid body in the barrier and beyond the barrier space. [1]

With a change in the parameters of the striking body and the properties of the barrier, the mechanisms of destruction change significantly. Therefore, modeling these processes is a very urgent task. Modeling of penetration and destruction processes is usually performed, due to their complexity and interconnectedness, by numerical methods, the finite element method [2-5] and the smooth (smoothed) particles method (SPM). [6, 7]

Various methods of mathematical modeling using various software (software) for choosing the optimal software and a method for studying contact interaction with a high-speed impact of a solid body with a flat barrier up to 7 M are considered.

1. Glushak, B.L. Destruction of deformable media under pulsed loads / B.L. Glushak, A.I. Ruzanov, A.I. Sadyrin et al. – N. Novgorod: Publishing House of UNN, 1992.

2. Theory of elasticity, transl. from English, Timoshenko S.P., Gudyer J., Main editorial office of Physico-mathematical literature of the publishing house "Science". 1975, p. 576.

3. Birger I. A., Mavlyutov R. R. Resistance of materials: A textbook. — M.: Nauka. Gl. ed. phys.-mat. lit., 1986.— 560 p.

4. Zenkevich, O. Finite elements and approximation / O. Zenkevich, K. Morgan. – M.: Mir, 1986.

5. Zenkevich, O. The finite element method of technology. Translated from English edited by B.Ye Pobedri, Mir Publishing House Moscow, 1975.

6. Amosov A.A., Dubinsky Yu.A., Kopchenova N.V. Computational methods for engineers: Textbook. — M.: Higher School, 1994. — 544 p.

7. Potapov A.P. Numerical simulation of high-speed collisions of deformable bodies by the method of smoothed particles, Moscow 2009.

Расчет и оценка влияния адгезионного слоя на несущую способность конструкций с закладными элементами

Чертыковцева В.О., Куркин Е.И.
Самарский университет, г. Самара, Россия

Вопрос адгезии и ее влияние на механические характеристики изделий является актуальным для аэрокосмической промышленности [1]. Применение связки полимер -металл позволяет снизить стоимость изделий и увеличить их прочностные свойства. Главной особенностью таких конструкций является то, что применяемые материалы дополняют друг друга и позволяют получить улучшенные характеристики в сравнении с их применением по отдельности [2, 3]. Учет адгезионного слоя является важным этапом при моделировании и прочностных расчетах в CAD-системах [4]. В работе проведен прочностной расчет в системе ANSYS для проушин из полимерного композиционного материала со втулками из алюминия, толщина проушин составляет 4 мм, длина 65 мм, диаметр оси проушин 12 мм. Для передачи нагрузки на отверстие проушины проведено моделирование стальной оси, соединенной с втулкой проушины через односторонний контакт Frictional с коэффициентом трения 0,3.

Рассмотрены три случая контактного взаимодействия втулки и пластика: случай полной адгезии, моделируемый Bonded контактом; и два случая отсутствия клеевого соединения, моделируемые односторонними нелинейными контактами Frictionless без учета трения и Frictional с коэффициентом трения 0,3 для описания трения между втулкой и деталью. Показано, что отсутствие клеевого соединения приводит к росту эквивалентных напряжений в теле детали по сравнению с Frictional контактом в 3,5 раза. Учет трения в одностороннем контакте приводит к разнице напряжений в пластике не более чем на 3%.

Для уточнения оптимальных размеров втулки проведена параметрическая оптимизация модели в системе ANSYS. Проектными переменными являются внешний диаметр проушины и диаметр втулки. Цель оптимизации – минимизация массы детали при ограничении на эквивалентные напряжения в пластике 150 МПа и в алюминии 300 МПа. Показано, что обеспечение клеевого соединения Bonded контактом позволяет снизить массу проушины на 22%, по сравнению со случаем Frictional соединения между втулкой и пластиком. Учет трения в одностороннем контакте не влияет существенно на результаты оптимизации – разница между случаями Frictional и Frictionless составляет менее 1%.

Исследование выполнено финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-79-10309.

1. Adhesion of polymers, Progress in Polymer Science 34(9):948-968, DOI:10.1016/j.progpolymsci.2009.04.007.

2. Ramani, K., Moriarty, B., 1998. Thermoplastic bonding to metals via injection molding for macro-composite manufacture. Polym. Eng. Sci. 38 (5), 870–877.

3. Ramani, K., Tagle, J., 1996. Process-induced effects in thin-film bonding of PEKEKK in metal-polymer joints. Polym. Compos.17 (6), 879–886.

4. X.-P.Xu, A.Needleman, Numerical simulations of fast crack growth in brittle solids. Journal of the Mechanics and Physics of Solids. Volume 42, Issue 9, September 1994, Pages 1397-1434.

Calculation and impact assessment of the adhesive layer on the bearing capacity of structures with embedded elements

Chertykovtseva V.O., Kurkin E.I.
Samara University, Samara, Russia

The issue of adhesion and its influence on the mechanical characteristics of products is relevant for the aerospace industry [1]. The use of a polymer-metal binder makes it possible to reduce the cost of products and increase their strength properties. The main feature of such structures is that the materials used complement each other and allow obtaining improved characteristics in comparison with their use separately [2, 3]. Accounting of the adhesive layer is an important step in modeling and strength calculations in CAD systems [4]. In this work, a strength calculation was carried out in the ANSYS system for lugs made of a polymer composite material with aluminum plugs, the thickness of the lugs is 4 mm, the length is 65 mm, and the diameter of the lugs axis is 12 mm. For

transfer the load to the lug hole, a steel axle was simulated connected to the lug plug through a single-sided Frictional contact with a friction coefficient of 0.3.

Three cases of contact interaction between the plug and plastic are considered: the case of complete adhesion, modeled by the Bonded contact; and two non-adhesive cases, modeled by one-sided non-linear contacts Frictionless and Frictional (with a friction coefficient of 0.3 to describe the friction between the plug and the part). It is shown that the absence of an adhesive bond leads to an increase in equivalent stresses in the body of the part compared to Frictional contact by 3.5 times. Accounting for friction in one-sided contact leads to a stress difference in the plastic of no more than 3%.

To specify the optimal dimensions of the plug, parametric optimization of the model was carried out in the ANSYS system. The design variables are the outside diameter of the lug and the diameter of the plug. The goal of optimization is to minimize the mass of the part while limiting the equivalent stresses in plastic to 150 MPa and in aluminum to 300 MPa. It has been shown that providing an adhesive connection by Bonded contact can reduce the mass of the lug by 22%, compared with the case of Frictional connection between the plug and the plastic. Accounting for friction in one-sided contact does not significantly affect the optimization results - the difference between the Frictional and Frictionless cases is less than 1%.

The study was financially supported by the Russian Science Foundation, project No. 22-79-10309.

1. Adhesion of polymers, Progress in Polymer Science 34(9):948-968, DOI:10.1016/j.progpolymsci.2009.04.007.

2. Ramani, K., Moriarty, B., 1998. Thermoplastic bonding to metals via injection molding for macro-composite manufacture. Polym. Eng. Sci. 38 (5), 870–877.

3. Ramani, K., Tagle, J., 1996. Process-induced effects in thin-film bonding of PEKEKK in metal-polymer joints. Polym. Compos.17 (6), 879–886.

4. X.-P.Xu, A.Needleman, Numerical simulations of fast crack growth in brittle solids. Journal of the Mechanics and Physics of Solids. Volume 42, Issue 9, September 1994, Pages 1397-1434.

Создание алгоритмов определения ориентации для малого космического аппарата

Чусовитин Н.В., Носырев А.Н., Фукин И.И., Кузнецов А.А.

МФТИ, г. Долгопрудный, Россия

На сегодняшний день малые космические аппараты решают различные практически значимые задачи. Для успешной реализации большинства из них космический аппарат должен уметь самостоятельно и в короткий срок определить ориентацию своей системы координат. Для решения этой задачи на борт спутников устанавливают системы датчиков, включающие солнечные и звёздные датчики, датчики определения угловой скорости, датчик вертикали и магнитометр. Настоящая работа посвящена разработке алгоритмов определения ориентации при помощи фильтрации информации, поступающей с измерительных приборов.

Наиболее распространенными способами фильтрации для задач такого типа являются метод наименьших квадратов и фильтрация Калмана. Первый способ является вычислительно затратным, что делает его неприменимым для использования на малом космическом аппарате. Фильтрация Калмана и ее модификации (расширенный фильтр Калмана) менее ресурсоёмки, а значит больше подходят для решения поставленной задачи.

В ходе реализации фильтра Калмана авторами была сформулирована математическая модель эволюции системы, были построены модели каждого типа датчиков, а также была найдена матрица связи между состоянием системы и измерительной информацией. Стоит отметить, что авторский алгоритм предусматривает возможность работы с показаниями датчиков, отнесенными к разным, несинхронизированным моментам времени. Также в работе были проанализированы ошибки определения ориентации при использовании широкого спектра датчиков, сформулированы рекомендации по составу измерительной аппаратуры, необходимой для достижения различных точностей.

Creating attitude determination algorithms for small spacecraft

Chusovitin N.V., Nosyrev A.N., Fukin I.I., Kuznetsov A.A.
MIPT, Dolgoprudny, Russia

To date, small spacecraft solve various practically significant tasks. For successful implementation of most of them, the spacecraft must be able to determine the orientation of its coordinate system by itself and in a short time. To solve this problem, systems of sensors are installed on satellites, including sun-position senors, star trackers, angular rate sensors, a vertical sensor and a magnetometer. The present work is devoted to developing algorithms for determining attitude by filtering the information coming from the measuring system.

The most common filtering methods for this type of problem are the least-squares method and Kalman filtering. The first method is computationally expensive, which makes it inapplicable to small spacecrafts. Kalman filtering and its modifications (extended Kalman filter) are less resource intesive, and thus more suitable for solving the problem.

During the implementation of the Kalman filter, the authors formulated a mathematical model of the system evolution, developed models of each sensor type, and found a relationship matrix between the state of the system and the measured data. It is worth noting that the authors' algorithm accounts for the possibility of working with sensors' measurements referred to different, unsynchronized moments of time. Also in the work errors of attitude determination when using a wide range of sensors were analyzed and recommendations on the composition of measuring equipment necessary to achieve various accuracies were formulated.

8. Новые материалы и производственные технологии в области авиационной и ракетно-космической техники

8. New materials and production technology in the field of aviation, rocket and space technology

Исследование и разработка композиционных порошков на основе карбида вольфрама для газотермического напыления, с целью получения усовершенствованных износостойких и коррозионностойких покрытий

Хапков О.М., Штатнова В.С., Зарубин В.В.
ООО «СТК», г. Рыбинск, Россия

Процессы изготовления и ремонта деталей на всех этапах становления и развития авиастроения, нефтегазовой отрасли и трубопроводной арматуры остаются актуальными и востребованными. Для решения определенных задач таких процессов находит широкое применение использование композиционных порошков, наносимых способами газотермического (ГТН) напыления на поверхности деталей, создавая защитные покрытия, повышающие функциональные свойства их поверхностных слоев (например, таких как износостойкость, коррозионостойкость, теплостойкость и др.). Покрытия позволяют обеспечить восстановление окончательных размеров деталей после выработки и износа, а благодаря способам ГТН покрытия можно наносить как на всю поверхность детали, так и на отдельные выбранные критические области, включая детали со сложной геометрией.

В настоящее время в Российской Федерации практически отсутствуют производители композиционного порошка со сферическими частицами на основе карбида вольфрама для создания износостойких и коррозионностойких покрытий, наносимых методами высокоскоростного газопламенного напыления. Отсутствие в России таких порошковых материалов является существенным риском для промышленных предприятий Российской Федерации, особенно для предприятий оборонно-промышленного комплекса.

Разработан композитный материал, который представляет особый класс порошковой металлургии и относится к группе однокарбидных (монокарбидных) твердых сплавов. Основными физико – механическими свойствами разработанного композиционного порошка системы WC-Co-Cr, является износостойкость, высокая твёрдость, коррозионная стойкость, пониженное сопротивление изгибу. Материал представляет собой агломерированный композиционный порошок со сферическими частицами размером от 20 до 45 мкм и мелкозернистой структурой на основе карбида вольфрама (85-87%) в кобальтовой матрице (9-11%) с добавлением хрома (3-5%). Микротвердость покрытия из такого материала достигает 1450 HV. Разработанный материал по функциональным свойствам, не уступает своим аналогам: WC-10Co-4Cr (Oerlicon metco) и твердому хромированию.

Дополнительно разработанная инновационная модификация WC-10Co-4Cr-8BN, представленного выше порошкового материла, заключающаяся в добавлении гексагонального нитрида бора к системе, который дополнительно к имеющимся свойствам покрытия, повышает его смазывающую способность за счет уменьшения коэффициента трения, что в свою очередь увеличивает срок службы соединений, образованных соприкосновением трущихся поверхностей.

Представленные выше композиционные материалы могут применяться для нанесения покрытий на «короткоресурсные» пары терния в различных отраслях промышленности, включая авиацию, например, на детали шасси самолетов и штоки гидроцилиндров.

Research and development of composite powders based on tungsten carbide for gas-thermal spraying, in order to obtain improved wear-resistant and corrosion-resistant coatings

Hapkov O.M., Shtatnova V.S., Zarubin V.V.
ООО “STK”, Rybinsk, Russia

The processes of manufacturing and repairing parts at all stages of the formation and development of the aircraft industry, the oil and gas industry and pipeline fittings remain relevant and in demand. To solve certain problems of such processes, the use of composite powders applied by methods of gas-thermal (GTN) spraying on the surface of parts is widely used, creating protective coatings that increase the functional properties of their surface layers (for example, such as wear resistance, corrosion resistance, heat resistance, etc.). Coatings allow for the restoration of the final dimensions of the parts after development and wear, and thanks to the GTN methods, coatings can be applied both to the entire surface of the part and to selected selected critical areas, including parts with complex geometry.

Currently, there are practically no manufacturers of composite powder with spherical particles based on tungsten carbide in the Russian Federation to create wear-resistant and corrosion-resistant coatings applied by high-speed flame spraying methods. The absence of such powder materials in Russia is a significant risk for industrial enterprises of the Russian Federation, especially for enterprises of the military-industrial complex.

A composite material has been developed, which represents a special class of powder metallurgy and belongs to the group of single-carbide (monocarbide) hard alloys. The main physical and mechanical properties of the developed composite powder of the WC–Co-Cr system are wear resistance, high hardness, corrosion resistance, reduced bending resistance. The material is an agglomerated composite powder with spherical particles ranging in size from 20 to 45 microns and a fine-grained structure based on tungsten carbide (85-87%) in a cobalt matrix (9-11%) with the addition of chromium (3-5%). The microhardness of the coating of such a material reaches 1450 HV. The developed material is not inferior in functional properties to its analogues: WC-10Co-4Cr (Oerlicon metco) and solid chrome plating.

Additionally, an innovative modification of WC-10Co-4Cr-8BN of the powder material presented above, consisting in the addition of hexagonal boron nitride to the system, which, in addition to the existing coating properties, increases its lubricity by reducing the coefficient of friction, which in turn increases the service life of the joints formed by the contact of rubbing surfaces.

The composite materials presented above can be used for coating "short-life" pairs of thorns in various industries, including aviation, for example, on aircraft landing gear parts and hydraulic cylinder rods.

Зависимость кинетики нагрева и восстановления формы актюатора из ПКМ с термостимулируемым эффектом памяти от мощности встроенного резистивного нагревателя

Агапов И.Г., Бабаевский П.Г., Резниченко Г.М.
МАИ, г. Москва, Россия

Актюаторы из ПКМ с термостимулируемым эффектом памяти формы (ТС ЭПФ), предназначенные в качестве шарниров трансформируемых космических конструкций, обеспечивают компактную укладку конструкций при транспортировке и разворачивание после доставки на орбиту. Принцип действия актюаторов основан на способности ПКМ при температуре конверсии (Тк) вблизи температуры стеклования полимерной матрицы (Тс) к обратимым высокоэластическим деформациям и возможности их фиксации и активации при охлаждении ниже и нагревании выше Тк соответственно. Шарнирные актюаторы, нагретые до температуры Тк, складываются на определенный угол. Охлаждением до температуры ниже Тк фиксируется заданная форма актюатора и компактная укладка трансформируемой конструкции. При нагревании выше Тк актюаторы самопроизвольно восстанавливают исходную форму, обеспечивая разворачивание конструкции и фиксацию ее формы при охлаждении ниже Тк.

В работе проведены исследования зависимости кинетики нагрева и восстановления формы актюатора из ПКМ с ТС ЭПФ от мощности встроенного резистивного нагревателя. Объектом исследований служил цилиндрический актюатор со встроенным гибким пленочным резистивным нагревателем. Выбор Тк базировался на результатах определения термомеханических свойств ПКМ методом динамического механического анализа (ДМА). Так, складывание актюатора под углом 30о на цилиндрической оправке диаметром 30 мм осуществлялось в интервале температур 90-100оС, соответствующем интервалу Тк, при котором модуль упругости ПКМ, принимает минимальное значение. После складывания актюатор охлаждали до комнатной температуры.

Кинетику нагревания и восстановления формы актюатора исследовали при подаче электрической мощности на резистивный нагреватель от 30 до 70 Вт, контролируя температуру актюатора и восстановление формы, определяя изменения угла складывания актюатора и рассчитывая степень восстановления формы через заданные промежутки времени.

В результате проведенных исследований получены кинетические зависимости повышения температуры актюатора, начала и максимальной скорости восстановления его формы. Установлено, что восстановление формы начинается при температуре 60оС, достигая максимальной скорости в интервале Тк (90-100оС). Анализ полученных результатов показывает, что при увеличении мощности нагревателя скорость повышения температуры и степени восстановления формы актюатора увеличиваются. При этом время начала восстановления формы и его завершения, соответственно, уменьшается.

Dependence of the kinetics of heating and recovery of the shape of an actuator made of PCM with a thermally stimulated shape memory effect on the power on the built-in resistive heater

Agapov I.G., Babaevsky P.G., Reznichenko G.M.
MAI, Moscow, Russia

The actuators made of PCM with a thermally stimulated shape memory effect (TC EPF), designed as hinges of transformable space structures, provide compact laying of structures during transportation and deployment after delivery to orbit. The principle of operation of the actuators is based on the ability of the PCM at the conversion temperature (Tc) near the glass transition temperature of the polymer matrix (Tc) to reversible highly elastic deformations and the possibility of their fixation and activation when cooled below and heated above Tc, respectively. Articulated actuators, heated to a temperature of Tc, are folded at a certain angle. By cooling to a temperature below Tc, the specified shape of the actuator and the compact laying of the transformed structure are fixed. When heated above the Tc, the actuators spontaneously restore the original shape, ensuring the unfolding of the structure and fixing its shape when cooled below the Tc.

The work studies the dependence of the kinetics of heating and restoring the shape of the actuator from the PCM with the TC EPF on the power of the built-in resistive heater. The object of research was a cylindrical actuator with a built-in flexible film resistive heater. The choice of Tc was based on the results of determining the thermomechanical properties of the PCM by dynamic mechanical analysis (DMA). Thus, the actuator was folded at an angle of 30o on a cylindrical mandrel with a diameter of 30 mm in the temperature range of 90-100oC, corresponding to the Tc interval, at which the modulus of elasticity of the PCM takes a minimum value. After folding, the actuator was cooled to room temperature.

The kinetics of heating and restoring the shape of the actuator was studied when electric power was applied to a resistive heater from 30 to 70 Watts, controlling the temperature of the actuator and restoring the shape, determining changes in the angle of folding of the actuator and calculating the degree of shape restoration at specified intervals.

As a result of the conducted studies, kinetic dependences of the temperature increase of the actuator, the beginning and maximum speed of its shape restoration were obtained. It is established that the restoration of the form begins at a temperature of 60 ° C, reaching a maximum speed in the Tc interval (90-100 ° C). The analysis of the obtained results shows that with an increase in the heater power, the rate of temperature increase and the degree of restoration of the shape of the actuator

increase. At the same time, the time of the beginning of the restoration of the form and its completion, respectively, decreases.

Исследование каталитической активности образцов поликристаллических и монокристаллических керамик

Астапов А.Н., Жестков Б.Е., Погодин В.А., Рабинский Л.Н.
МАИ, г. Москва, Россия

Проведены сравнительные газодинамические испытания исследуемых и эталонных образцов на идентичных режимах в потоках воздушной и аргоновой плазмы. Образцы имели форму дисков диаметром 29.5 и толщиной 4-6 мм. Образцы устанавливались, выступая на 1 мм, в держателях в виде цилиндров диаметром 42 мм, выполненных из карбонитрида бора. В качестве эталонных образцов использовали диски аморфного кремнезема SiO2 и диски из C-SiC композита с низкокаталитическим покрытием МАИ Д5 [1, 2]. Исследовали образцы поликристаллов Al2O3, ZrO2•10Y2O3 и монокристаллов Al2O3 (лейкосапфир), ZrO2•5Y2O3 (фианит) и Gd3Ga5O12 (галлий-гадолиниевый гранат). Методика определения константы скорости гетерогенной рекомбинации Kw представлена в работах [2, 3].

Полученные значения Kw для поликристаллического Al2O3 в воздушной плазме при температурах 2015, 2200 и 2320 К составили 29±1, 23±3 и 24±2 м/с соответственно, а для монокристаллического Al2O3 при 1935 и 2135 К – 27±4 и 32±5 м/с. Оценочные значения Kw для поликристаллического ZrO2•10Y2O3 в воздушной плазме при температурах 2100, 2400, 2700 и 2835 К составили 32.2, 35.7, 41.7 и 43.7 м/с соответственно, а для монокристаллического ZrO2•5Y2O3 при 2125, 2280, 2430 и 2575 К – 26±3, 27±4, 29±4 и 31±4 м/с. Значения Kw для монокристалла Gd3Ga5O12 в воздушной плазме при температурах 1830 и 2030 К оцениваются как 32±4 и 31±4 м/с соответственно.

Поликристаллические ZrO2•10Y2O3 и монокристаллические ZrO2•5Y2O3 образцы остаются высоко каталитическими при температурах 2400-2800 К. При этих температурах атомы не адсорбируются на поверхности и классические схемы гетерогенной рекомбинации Или-Райдила и Ленгмюра-Хиншельвуда не реализуются. Следовательно, имеет место новый механизм гетерогенной рекомбинации атомов азота и кислорода, по-видимому, связанный с встраиванием ионов потока в кристаллическую решетку ZrO2 и последующей их рекомбинацией. Данный результат требует уточнений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00352, https://rscf.ru/project/22-19-00352/.

Литература:

1. Пат. 2437961 РФ, МПК C23C 10/26 (2006.01), C23C 24/08 (2006.01). Способ восстановления высокотемпературного кремнийсодержащего защитного покрытия на жаропрочных конструкционных материалах // Терентьева В.С., Еремина А.И., Жестков Б.Е., Астапов А.Н.; заявитель и патентообладатель Московский авиационный институт (государственный технический университет). – № 2010132004/02; заявл. 29.07.2010; опубл. 27.12.2011, Бюл. № 36.

2. Жестков Б.Е., Штапов В.В. Исследование состояния материалов в гиперзвуковом потоке плазмы // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2016. – Т. 82, № 12. – С. 58–65.

3. Астапов А.Н., Жестков Б.Е., Плугин В.В., Сенюев И.В., Целунов М.М., Штапов В.В. Методика исследования каталитических свойств материалов при сверхвысоких температурах // Материалы XX международной школы-семинара «Модели и методы аэродинамики». Евпатория, Республика Крым, 10–17 сентября 2020 г. – ЦАГИ, 2020. – С. 13–15.

Study of the catalytic activity of samples of polycrystalline and single-crystal ceramics

Astapov A.N., Zhestkov B.E., Pogodin V.A., Rabinskiy L.N.
MAI, Moscow, Russia

Comparative gas-dynamic tests of the studied and reference samples were carried out in identical modes in air and argon plasma flows. The samples were in the form of disks 29.5 mm in diameter and 4-6 mm thick. The samples were installed protruding by 1 mm in holders in the form of cylinders

42 mm in diameter made of boron carbonitride. As reference samples, disks of amorphous silica SiO2 and disks made of C-SiC composite with a low-catalytic coating MAI D5 were used [1, 2]. Samples of polycrystals of Al2O3, ZrO2•10Y2O3 and monocristalline of Al2O3 (leucosapphire), ZrO2•5Y2O3 (fianite), and Gd3Ga5O12 (gallium-gadolinium garnet) were studied. The method for determining the rate constant of heterogeneous recombination Kw is presented in [2, 3].

The obtained Kw values for polycrystalline Al2O3 in air plasma at temperatures of 2015, 2200, and 2320 K were 29±1, 23±3, and 24±2 m/s, respectively, and for single-crystal Al2O3 at 1935 and 2135 K, they were 27±4 and 32± 5 m/s. The estimated values of Kw for polycrystalline ZrO2•10Y2O3 in air plasma at temperatures of 2100, 2400, 2700, and 2835 K were 32.2, 35.7, 41.7, and 43.7 m/s, respectively, and for single-crystal ZrO2•5Y2O3 at 26±3, 27±4, 29±4 and 31±4 m/s. The Kw values for a Gd3Ga5O12 single crystal in air plasma at temperatures of 1830 and 2030 K are estimated as 32±4 and 31±4 m/s, respectively.

Polycrystalline ZrO2•10Y2O3 and monocristalline ZrO2•5Y2O3 samples remain highly catalytic at temperatures of 2400-2800 K. At these temperatures, atoms are not adsorbed on the surface, and the classical schemes of heterogeneous recombination of Ely-Rydeal and Langmuir-Hinshelwood are not realized. Consequently, a new mechanism of heterogeneous recombination of nitrogen and oxygen atoms takes place, apparently associated with the incorporation of flux ions into the crystal lattice of ZrO2 and their subsequent recombination. This result requires clarification.

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-19-00352, https://rscf.ru/project/22-19-00352/.

References:

1. Pat. 2437961 RU, IPC C23C 10/26 (2006.01), C23C 24/08 (2006.01). A method for restoring a high-temperature silicon-containing protective coating on heat-resistant structural materials // Terentieva V.S., Eremina A.I., Zhestkov B.E., Astapov A.N.; applicant and patent holder Moscow Aviation Institute (State Technical University). – No. 2010132004/02; dec. 07/29/2010; publ. December 27, 2011, Bull. No. 36.

2. Zhestkov B.E., Shtapov V.V. Investigation of the state of materials in a hypersonic plasma flow. Ind. Lab. Diagn. Mater. Vol. 82, No. 12, 2016. – P. 58–65 (in Russian).

3. Astapov A.N., Zhestkov B.E., Plugin V.V., Senyuev I.V., Tselunov M.M., Shtapov V.V. Methodology for studying the catalytic properties of materials at ultrahigh temperatures // Proceedings of the XX international school-seminar «Models and methods of aerodynamics». Evpatoria, Republic of Crimea, September 10–17, 2020. – TsAGI, 2020. – P. 13–15 (in Russian).

Исследование концентрации пластических деформаций сдвига в толстых многослойных металлополимерных композитных материалов при изгибе

Бабайцев А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Металлополимерные композитные материалы на основе слоев алюминия и стекловолокна известные как алюмостеклопластики (GLARE) в настоящее время металлокомпозитные материалы широко используются в авиационной и космической отрасли. Так в конструкциях самолетов GLARE использовался в обшивке фюзеляжа Airbus-380 и в некоторых других элементах, а НАСА использовало армированные металлические детали в рамках программы «Спейс-шаттл».

Преимуществами GLARE являются повышенная ударная прочность и остаточная прочность после удара, повышенная усталостная прочность, относительно высокая удельная прочность и удельная жесткость (по сравнению с алюминиевыми сплавами), высокая теплопроводность и огнестойкость.

В работе проводился анализ корреляции цифровых изображений (DIC) для испытаний на трехточечный изгиб ламинатов GLARE1-9/8 (9 алюминиевых и 8 однонаправленных слоев GFRP). Результаты показывают, что в образцах с малым отношением длины к толщине внутри слоев GFRP возникает интенсивная концентрация пластической деформации сдвига, что значительно влияет на несущую способность и кажущуюся прочность на межламинарный сдвиг GLARE. Ранее такие эффекты были предсказаны на основе численного моделирования.

В данной работе эти теоретические прогнозы на основе анализа распределения деформации сдвига по толщине GLARE с помощью DIC. Для этого анализа были изучены и сравнены образцы с продольной и поперечной ориентацией стекловолокна в слоях GFRP. Для образцов с поперечной ориентацией было также обнаружено, что растрескивание матрицы в слоях GFRP становится дополнительным источником общего нелинейного поведения GLARE.

Работа выполнена с финансовой поддержкой гранта Президента Российской Федерации МК-398.2022.4.

Investigation of Plastic Shear Deformation Concentration in Thick Multilayer Metal-Polymer Composites under Bending

Babaytsev A.V.
MAI, Moscow, Russia

Metal-polymer composite materials based on layers of aluminum and fiberglass known as aluminoglass plastics (GLARE) are currently widely used in the aerospace industry. For example, GLARE was used in aircraft structures in the fuselage skin of the Airbus 380 and in some other elements, and NASA used reinforced metal parts in the Space Shuttle program.

The advantages of GLARE are increased impact strength and residual strength after impact, increased fatigue strength, relatively high specific strength and specific stiffness (compared to aluminum alloys), high thermal conductivity and fire resistance.

A digital image correlation (DIC) analysis was performed for three-point bending tests of GLARE1-9/8 laminates (9 aluminum and 8 unidirectional GFRP layers). The results show that in specimens with small length-to-thickness ratios, an intense concentration of plastic shear strain occurs within the GFRP layers, which significantly affects the carrying capacity and apparent interlaminar shear strength of GLARE. Previously, such effects have been predicted based on numerical simulations. In this paper, these theoretical predictions are based on a DIC analysis of the GLARE thickness shear strain distribution. For this analysis, samples with longitudinal and transverse fiberglass orientation in the GFRP layers were studied and compared. For samples with transverse orientation, it was also found that matrix cracking in the GFRP layers becomes an additional source of overall nonlinear GLARE behavior.

This work was supported by grant MK-398.2022.4 from the President of the Russian Federation.

Влияние защитной атмосферы на структуру стали 316L после селективного лазерного плавления

Базалеева К.О., Железный М.В., Цветкова Е.В.
РУДН, г. Москва, Россия

Известно, что в процессе селективного лазерного плавления (СЛП) структура сплава формируется в неравновесных условиях: первоначально при лазерной перекристаллизации порошкового материала сплав охлаждается из жидкого состояния со сверхбыстрыми скоростями, далее при перекристаллизации соседних слоев и треков объекта материал подвергается термоциклированию. В результате в сплаве формируется неравновесная структура с целым рядом особенностей. Формируемое структурное состояние в большой степени зависит от технологических параметров процесса. Среди основных параметров можно назвать мощность лазерного излучения, скорость сканирования лазера по поверхности, расстояние между единичными треками, стратегия плавления, защитная атмосфера и др. Варьируя параметры процесса, можно управлять структурными показателями и эксплуатационными характеристиками сплава, так как при изменении параметров меняется энерговложение, а также скорость охлаждения. В данной работе рассмотрены особенности структуры сплава, формируемого методом СЛП, на примере стали аустенитного класса 316L, а также исследовано влияние защитной атмосферы (азот/аргон) на процесс формирования структуры.

Образцы стали 316 L (Fe-12%Ni-17%Cr-2%Mo-0.02%C) были синтезированы методом СЛП при следующих параметрах процесса: мощность лазера составляла 110 Вт, скорость сканирования лазера – 750 мм/с, расстояние между треками – 50 мкм, использовалась

шахматная стратегия плавления, в качестве защитной атмосферы для части образцов использовался аргон, для другой части – азот.

Особенности структуры стали после СЛП, а также после дополнительных отжигов, которые проводились при температурах от 100 до 1200 градусов Цельсия в течение 1 ч, исследовались методами металлографического и рентгеноструктурного анализов, а также с помощью растровой и просвечивающей электронной микроскопии. Также на образцах проводился термический анализ и измерение значений микротвердости.

В результате структурных исследований было показано, что независимо от защитной атмосферы микроструктура сплава обладает следующими особенностями: (1) она иерархична – ванны расплава разбиты на фрагменты, которые разделены на столбчатые ячейки кристаллизации одинаковой ориентации; (2) границы ячеек кристаллизации представляют собой объемные сплетения дислокаций, подобные тем, что формируются при сильной пластической деформации; (3) границы ячеек закреплены сегрегациями примесных атомов; (4) в структуре сохраняются высокие макронапряжения, соизмеримые с пределом текучести материала; (5) структуры обладают кристаллографической текстурой. Следует отметить, что ячеистая структура сохраняется в аустенитной стали до температуры отжига 800 градусов Цельсия.

Важным результатом явилось то, что защитная среда, не повлияв на размерные характеристики ячеистой структуры, на параметр кристаллической решетки аустенита и на микронапряжения в ней, которые оценивались по ширине дифракционных максимумов на дифрактограмме, не изменив значение микротвердости, принципиально изменила кристаллографическую текстуру в экспериментальных образцах. В образцах, выращенных в среде аргона, плоскость сканирования лазера совпадает преимущественно с кристаллографической плоскостью типа {110}, а у образцов, выращенных в среде азота – с плоскостью типа {100}.

Effect of protective gas atmosphere on the structure of 316L stainless steel produced by laser-powder bed fusion

Bazaleeva K.O., Zheleznyy M.V., Tsvetkova E.V.
RUDN, Moscow, Russia

In this work it was shown by structural methods that the protective atmosphere (nitrogen/argon) does not affect the following characteristics of 316L after L-PBF: cellular size, the dislocation structure, the austenite crystal lattice parameter, but it fundamentally changes the crystallographic texture of the samples.

It is known that during L-PBF, the alloys structure is formed under nonequilibrium conditions: initially, during laser re-melting of the powder material, the alloy cools from the liquid state at ultrafast rates, then, during the melting of tracks the neighboring material undergoes thermal cycling. As a result, a nonequilibrium structure with a number of features forms in the alloy. The steel structural state largely depends on the process technological parameters. The main parameters are laser power, scanning speed, hatch distance, melting strategy, protective atmosphere, etc. By varying the process parameters, it is possible to control the structure and performance characteristics of the alloy, since the parameters change result in changing of energy input and alloy cooling rate. In this work, the features of the 316L stainless steel formed by L-PBF are studied with consideration the effect of a protective gas atmosphere (nitrogen/argon).

Samples of steel 316 L (Fe-12%Ni-17%Cr-2%Mo-0.02%C) were manufactured by L-PBF using the following technological parameters: laser power 110 W, scanning speed 750 mm/s, hatch spacing 50 μm, chessboard melting strategy, some samples were made using argon protective atmosphere and nitrogen was used for the other part of samples.

The steel structure was studied in initial state after L-PBF, as well as after annealing. The samples were subjected to annealing at temperatures 100 - 1200°C for 1 hour. The methods used for structure studying were metallographic analyzes, X-ray diffraction, scanning and transmission electron microscopy. Thermal analysis and measurement of microhardness were also carried out.

As a result of structural studies, it was shown that, regardless of the gas protective atmosphere, the steel microstructure has the following features: (1) the structure is hierarchical - melt pools are divided into fragments, which are divided into columnar crystallization cells with close orientation; (2) the boundaries of crystallization cells are volumetric entanglements of dislocations, similar to those that form under severe plastic deformation; (3) cell boundaries are fixed by segregations of impurity atoms; (4) high macrostresses commensurate with the yield strength of the steel are retained after L-PBF; (5 crystallographic texture. It should be noted that the cellular structure is stable in austenitic steel up to the annealing temperature of 800 °C.

An important result was that the protective gas has no effect on the cellular size, microhardness, the austenite crystal lattice parameter and its microstresses, which were estimated from the width of the diffraction maxima using XRD, but fundamentally changed the crystallographic texture of samples. The laser scanning plane coincides predominantly with the crystallographic plane {110} in samples manufactured in Ar, while in the samples manufactured in nitrogen, it coincides with the {100} plane.

Перспективы создания беспористых сварных соединений тонкостенных ребристых панелей из титановых сплавов

Бахматов П.В.

КнАГУ, г. Комсомольск-на-Амуре, Россия

В авиастроении РФ все процедуры сборки титановых конструкций сваркой регламентированы производственной инструкцией ПИ 1.4.1898, разработанной ОАО НИАТ, определяющей виды и режимы технологических операций и норму дефектов, не исключающей порообразование. В практике серийного производства ребристых титановых панелей каждый сварной шов подвергается исправлению дефектов в виде пор, что подтверждает несовершенство подхода к решению вопроса порообразования и нормативной документации.

При сборке титановых конструкций ребристых панелей снижение порообразования в процессе сварки плавлением возможно при непосредственном наблюдении оператором за сварочной ванной и оперативным управлением термическим циклом сварки для увеличения выдержки жидкометаллической сварочной ванны. Это не позволяет полностью автоматизировать процесс сборки, исключить влияние человеческого фактора на качество НС, добиться равнопрочности сварного соединения по всей протяженности шва (на 8-12% снижается прочность металла шва НС, а в некоторых случаях ниже допустимых значений). Использование флюсов для дегазации сварочной ванны экологически небезопасно. Исправление пористости металла шва НС (устранение дефекта и последующая ручная подварка) приводит к снижению механических свойств, к существенному увеличению цикла изготовления конструкции, трудозатрат (до 30%), расхода электроэнергии и материалов.

1. Для оценки качества поверхности кромок заготовок и присадочной проволоки, взамен стандартного параметра шероховатости, предложен параметр – насыщенность поверхности капиллярно – конденсированными загрязнениями, учитывающий глубину разрыхленного слоя, определяемый спектральным анализом по содержанию в поверхностном слое водорода.

2. Комплексным анализом уровня дефектности металла шва и насыщенности поверхности капиллярно-конденсированными загрязнениями определено влияние на формирование поверхности заготовок и сварочной проволоки под сварку титановых сплавов доступных в производстве разделительно-подготовительных технологических операций (пластическая деформация обкаткой фрезерованной поверхности, газолазерный раскрой в среде азота и аргона, комбинации газолазерного раскроя с любым видом раскроя), обеспечивающие qдеф=0 при N≈1.

3. Исключение порообразования в металле шва в процессе сварки плавлением титановых конструкций открывает возможность автоматизации процесса сварки, дает возможность прогнозировать свойства сварных конструкций.

Литература:

1. Пористость при сварке цветных металлов. В.В. Редчиц, В.А. Фролов, В.А. Казаков, В.И. Лукин. – М.: Издательский центр "Технология машиностроения". 2002. – 448 с.
2. Бездеформационная сварка стрингерных панелей из титанового сплава ВТ20 / Б.Е. Патон, Л.М. Лобанов, В.В. Кныш и др.// Автоматическая сварка - №9- 2014 - С.7-18.
3. Муравьёв В.И., Бахматов П.В., Григорьев В.В. Влияние режимов механической обработки стыкуемых кромок на качество неразъемных соединений, выполненных сваркой плавлением, при сборке титановых конструкций летательных аппаратов. Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2021, № 6, с. 67–79.
4. Обеспечение качества неразъемных соединений титановых конструкций летательных аппаратов, выполненных сваркой плавлением: моногр. / В. И. Муравьев, П.В. Бахматов, В. В. Григорьев - Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2022.-296 с.

Prospects for the creation of non-porous welded joints of thin-walled ribbed panels made of titanium alloys

Bakhmatov P.V.
KnASU, Komsomolsk-na-Amure, Russia

In the aircraft industry of the Russian Federation, all procedures for assembling titanium structures by welding are regulated by the production instruction PI 1.4.1898, developed by JSC NIAT, which defines the types and modes of technological operations and the defect rate, which does not exclude pore formation. In the practice of mass production of ribbed titanium panels, each weld is subjected to correction of defects in the form of pores, which confirms the imperfection of the approach to solving the issue of porosity and regulatory documentation.

When assembling titanium structures of ribbed panels, the reduction of pore formation during fusion welding is possible with direct supervision of the welding bath by the operator and operational control of the thermal welding cycle to increase the exposure of the liquid metal welding bath. This does not allow fully automating the assembly process, eliminating the influence of the human factor on the quality of the NS, achieving equal strength of the welded joint along the entire length of the seam (the strength of the metal of the NS seam decreases by 8-12%, and in some cases below acceptable values). The use of fluxes for degassing the welding bath is environmentally unsafe. Correction of the porosity of the metal of the NS seam (elimination of the defect and subsequent manual welding) leads to a decrease in mechanical properties, to a significant increase in the cycle of manufacturing the structure, labor costs (up to 30%), energy consumption and materials.

1. To assess the surface quality of the edges of the workpieces and filler wire, instead of the standard roughness parameter, a parameter is proposed – the saturation of the surface with capillary – condensed impurities, taking into account the depth of the loosened layer, determined by spectral analysis of the content of hydrogen in the surface layer.

2. A comprehensive analysis of the level of seam metal defects and the saturation of the surface with capillary-condensed impurities determined the effect on the formation of the surface of workpieces and welding wire for welding titanium alloys available in the production of separation and preparatory technological operations (plastic deformation by running-in of the milled surface, gas laser cutting in nitrogen and argon, combinations of gas laser cutting with any type of cutting), providing qdef=0 for N≈1.

3. The exclusion of pore formation in the seam metal during fusion welding of titanium structures opens up the possibility of automating the welding process, makes it possible to predict the properties of welded structures.

References:

1. Porosity in welding of non–ferrous metals. V.V. Redchits, V.A. Frolov, V.A. Kazakov, V.I. Lukin. - M.: Publishing Center "Technology of Mechanical Engineering". 2002. – 448 p.
2. Non-deformational welding of stringer panels made of titanium alloy VT20 / B.E. Paton, L.M. Lobanov, V.V. Knysh et al.// Automatic welding - No. 9- 2014 - pp.7-18.
3. Muravyev V.I., Bakhmatov P.V., Grigoriev V.V. Influence of modes of mechanical processing of joined edges on the quality of permanent joints made by fusion welding during the assembly of

titanium structures of aircraft. News of higher educational institutions. Mechanical Engineering, 2021, No. 6, pp. 67-79.
4. Quality assurance of permanent joints of titanium structures of aircraft made by melting welding: monogr. / V. I. Muravyev, P.V. Bakhmatov, V. V. Grigoriev - Moscow; Vologda: Infra-Engineering, 2022.-296 p.

Прикладные вопросы управления качеством процесса аддитивного производства на этапе технологического проектирования

[1]Брыкин В.А., [2]Евстратов С.В.
[1]МАИ, г. Москва, Россия
[2]РКК «Энергия», г. Королёв, Россия

Стремительное развитие и внедрение технологий аддитивного производства (АП) в современные цепочки поставок продукции высокотехнологичных отраслей накладывает серьезные требования к соответствующим процессам создания конструкции под аддитивное производство, технологического проектирования процессов печати, контроля и управления качеством синтезируемых изделий. Геометрические особенности инновационных изделий высокой сложности, свойства материалов и высокие требования к механическим свойствам делают особенно важной вышеописанные задачи. Введение ряда методических и проектных рекомендаций, регламентирующих деятельность инженера-технолога АП, позволит достичь нового уровня качества современного аддитивного производства.

В данной работе рассмотрено влияние качества электронной модели «на входе» на процессы технологической подготовки производства и непосредственно синтеза изделия, предложена классификация электронных моделей «на входе», а также проектные рекомендации, которые позволят современным инженерам участков АП повысить уровень качества изделий, получаемых аддитивным способом. Проведенный анализ опыта технологической подготовки электронных моделей изделия к аддитивному производству позволяет предложить классификатор качества исходных электронных моделей, пригодный для экспресс-анализа и оперативного поиска подходов для улучшения качества таких моделей. Предлагаемая методика в перспективе позволит оптимизировать типовой рабочий процесс инженера-технолога за счёт уменьшения времени, которое специалист затрачивает на принятие решений в процессе технологического проектирования.

В результате внедрения проектных рекомендаций среднее время, затрачиваемое специалистом на процесс технологической подготовки одного фасетного тела (для отдельных предлагаемых классов полигональных сеток), сокращается на ~20% в сравнении с последовательным применением всех без исключения существующих алгоритмов лечения. Особенную эффективность методика показывает при большом количестве входных STL-файлов наименее высоких классов качества.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер темы FSFF-2020-0017.

Applied issues of quality management of the additive manufacturing process at the stage of technological design

[1]Brykin V.A., [2]Evstratov S.V.
[1]MAI, Moscow, Russia
[2]RSC “Energia”, Korolev, Russia

The rapid development and implementation of additive manufacturing (AM) technologies in modern supply chains for products of high-tech industries imposes serious requirements on the corresponding processes of creating a design for additive manufacturing, technological design of printing processes, and quality control and management of synthesized products. Geometrical features of innovative products of high complexity, material properties and high requirements for mechanical properties make all of these mentioned tasks especially important.

The introduction of a number of methodological and design recommendations that regulate the activities of an AM process engineer will make it possible to achieve a new level of quality in modern additive manufacturing.

In this paper, the influence of the quality of the electronic model "at the input" on the processes of technological preparation of production and directly the synthesis of the product is considered, a classification of electronic models "at the input" is proposed, as well as design recommendations that will allow modern engineers of AM sites to improve the quality level of products obtained by an additive method. The analysis of the experience of technological preparation of electronic product models for additive manufacturing allows to propose a quality classifier of initial electronic models which is suitable for express analysis and search for solutions to improve the quality of such models. The proposed methodology in the future will optimize the typical workflow of a process engineer by reducing the time a specialist spends on making decisions in the process of process design.

As a result of the implementation of design recommendations, the average time spent by a specialist on the process of technological preparation of one faceted body (for certain proposed classes of polygonal meshes) is reduced by ~20% compared to the sequential application of all existing treatment algorithms without exception. The technique shows particular efficiency with a large number of input STL files of the least high quality classes.

The work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Education and Science of Russia, topic number FSFF-2020-0017.

Исследование неупругих свойств композиционных материалов с полиэтиленовой матрицей, армированной проволокой из никелида титана

Бурдин Д.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В работе исследовано влияние армирования проволокой из никелида титана на упругие и неупругие свойства полиэтилена высокого и низкого давления. Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки в ортопедической отрасли новых туторов для ходьбы и стоподержателей из композиционных материалов, обладающих высоким уровнем эксплуатационных свойств и надежности. Клиническая практика использования таких изделий показывает, что их функционально-корригирующие свойства не удовлетворяет медико-техническим требования из-за низких упругих свойств и слишком высокой демпфирующей способности.

В качестве объекта исследований были выбраны образцы композиционного материала (КМ) с матрицей из полиэтилена низкого (ПНД) и высокого (ПВД) давления. В качестве армирующего наполнителя использовали проволоку диаметром 2,48 мм из сплава Ti-55,7вес.%Ni, проявляющую при комнатной температуре сверхупругие свойства. Проволочные заготовки в количестве 2 или 3 штук располагали между двумя листами полиэтилена и сваривали под давлением 8 Па при температуре 130 и 170 С для ПВД и ПНД, соответственно. Размер образцов составлял 3×200×600 мм, а объемная доля армирующего наполнителя - 2,8 и 4,1 %. Для определения упругих и неупругих свойств (внутреннее трение – ВТ) образцы композитов подвергали испытаниям на трехточечный изгиб на установке TIRAtest 2300, циклически нагружая и разгружая их в интервале от 0,1 до 1,0 от величины предела пропорциональности материала.

У неармированных образцов ПНД модуль упругости равен 816 МПа, предел пропорциональности 7,5 МПа, а соответствующая ему деформация 1%, а у образцов ПВД – 225 МПа, 2,4 МПа и 1,2%, соответственно. Установлено, что при армировании полиэтилена все упругие характеристики полученного композита возрастают приблизительно в 2,0 и в 3,0 раза при объемной доле армирования 2,8 и 4,1 %, соответственно, что свидетельствует о положительном влиянии армирования на весь комплекс упругих свойств.

Величину ВТ оценивали по отношению величины рассеянной механической энергии к полной энергии деформации при изгибе образцов. Результаты циклических испытаний показали, что в течение 50 циклов нагружения образцов демпфирующие свойства полиэтилена и КМ остаются практически на одном уровне. При этом величина ВТ у образцов

ПНД составляет 3,5%, а у образцов ПВД – 4%. Такие значения ВТ являются слишком высокими, т.к. при изготовлении ортопедических изделий такой материал не может обеспечить необходимый уровень функционально-корригирующих свойств. Армирование полиэтилена приводит к заметному снижению рассеяния материалом механической энергии и, следовательно, снижению ВТ. Для КМ с матрицей из ПВД величина ВТ уменьшилась в 2 раза, по сравнению с неармированным ПВД, а для КМ с матрицей из ПНД величина ВТ уменьшилась на 14%, а затем возросла на 10% по сравнению с неармированным ПНД. Это снижение демпфирующей способности материала следует рассматривать как положительный эффект, для достижения которого и применяли армирование полиэтилена никелидом титана.

Таким образом, проведенные исследования показали, что армирование ПВД и ПНД сверхупругой проволокой из никелида титана позволяет управлять комплексом упругих и неупругих свойств материала и создает возможности для изготовления ортопедических изделий с заданным уровнем функционально-корригирующих свойств.

Investigation of inelastic properties of composite materials with polyethylene matrix reinforced with titanium nickelide wire

Burdin D.V.
MAI, Moscow, Russia

The effect of titanium nickelide wire reinforcement on the elastic and inelastic properties of high- and low-pressure polyethylene is investigated. The relevance of the work is due to the need to develop new walking splints and foot supports made of composite materials with a high level of operational properties and reliability in the orthopedic industry. Clinical practice of using existing products shows that their functional and corrective properties do not meet medical and technical requirements due to low elastic properties and too high damping ability.

Samples of composite material (CM) with a matrix of low-pressure polyethylene (HDPE) and high-pressure polyethylene (LDPE) were selected for research. A wire with a diameter of 2.48 mm made of Ti-55.7 wt alloy was used as a reinforcing filler.%Ni, exhibiting superelastic properties at room temperature. Wire billets in the amount of 2 or 3 pieces were placed between two sheets of polyethylene and welded at a pressure of 8 Pa at a temperature of 130 and 170 ° C for LDPE and HDPE, respectively. The size of the samples was 3×200×600 mm, and the volume fraction of the reinforcing filler was 2.8 and 4.1%. To determine elastic and inelastic properties (internal friction – W), composite samples were subjected to three-point bending tests on the TIRAtest 2300 installation, cyclically loading and unloading them in the range of forces varying from 0.1 to 1.0 of the limit of proportionality of the material.

In non–reinforced HDPE samples, the modulus of elasticity is 820 MPa, the limit of proportionality is 7.5 MPa, and the corresponding deformation is 1.0%, and in LDPE samples – 225 MPa, 2.4 MPa and 1.2%, respectively. It was found that when reinforcing polyethylene, all elastic characteristics of the resulting CM increase approximately 2.0 and 3.0 times with a volume fraction of reinforcement of 2.8 and 4.1%, respectively. This indicates a positive effect of reinforcement on the entire complex of elastic properties.

The value of W was estimated in relation to the value of the scattered mechanical energy to the total energy of deformation during bending of the samples. The results of cyclic tests showed that during 50 cycles of loading samples, the damping properties of polyethylene and CM do not change, remaining almost at the same level. At the same time, the value of W in HDPE samples is 3.5%, and in LDPE samples – 4.0%. Such W values are too high. Therefore, in the manufacture of orthopedic products, such a material cannot provide the necessary level of functional and corrective properties. Reinforcement of polyethylene leads to a noticeable decrease in the dissipation of mechanical energy by the material and, consequently, a decrease in watts. For KM with a matrix of LDPE, the value of W decreased by 2 times, compared with non-reinforced LDPE, and for KM with a matrix of HDPE, the value of W decreased by 10-14% compared with non-reinforced HDPE. The observed decrease in the damping ability of the material should be considered as a positive effect, to achieve which the reinforcement of polyethylene with titanium nickelide was used.

Thus, the conducted studies have shown that the reinforcement of LDPE and HDPE with a superelastic wire made of titanium nickelide allows you to control the complex of elastic and inelastic properties of the material and creates opportunities for the manufacture of orthopedic products with a given level of functional and corrective properties.

Эффект электростимулируемой «сухой» адгезии: определяющие факторы и методы контроля

Дегтярев С.В., Козлов Н.А., Бабаевский П.Г.
МАИ, г. Москва, Россия

Решение специфических задач, выполняемых космическими аппаратами, созданными на Земле при создании долговременных станций как на околоземной орбите, так и вблизи других планет приведет к необходимости выполнения огромного объема работ в отсутствии или при слабой силы тяжести, в т.ч. временное закрепление объектов различной массы, типов и условий поверхности, их захват, ориентация в пространстве и т.д. Все эти операции могут быть реализованы с использованием явления электростимулируемой «сухой» адгезии. ЭСА найдет также различные варианты практического применения в земных условиях, такие как создание приспособлений (захватов) для удержания и транспортировки заготовок и деталей, адгезионных механизмов для роботов, погрузочно-разгрузочных агрегатов в автоматизированном производстве и складской автоматизации в различных отраслях промышленности при манипуляции с относительно небольшими объектами.

Явление ЭСА представляет собой эффект электростатического притяжения между двумя объектами – «сухим» электроадгезивом и твердой подложкой различной природы, текстуры, профиля поверхности. Основой «сухого» электроадгезива, предназначенного для электроадгезионных устройств, служит пленка (слой, прокладка) эластичного диэлектрика с заданным профилем поверхности и встроенным гребенчатым конденсатором. Конденсатор формирует электрическое поле за счет внешнего источника напряжения, которое поляризует поверхностные слои «сухого» адгезива и подложки, обеспечивая повышение сил сцепления.

В докладе проанализированы и классифицированы факторы, определяющие явление ЭСА, к которым, в первую очередь, относятся природа, структура и диэлектрические свойства эластичной пленки, геометрия электродов конденсатора, величина подаваемого напряжения и создаваемого электрического поля, а также природа подложки и параметры окружающей среды. Выявлено и рассмотрено 33 фактора, влияющих на эффект ЭСА между электроадгезивом и подложкой.

Рассмотрены возможности и эффективность методов контроля проявления эффектов электростимулируемой «сухой» адгезии – прямые измерения сил сцепления электроадгезива с подложками различной природы, а также контроль поляризации слоя «сухого» адгезива и изменение его поверхностной энергии по смачиванию внешней поверхности каплями жидкости различной природы.

Electrically stimulated "dry" adhesion phenomenon: determining factors and methods of control

Degtyarev S.V., Kozlov N.A., Babaevsky P.G.
MAI, Moscow, Russia

Solutions of specific tasks both in near-Earth orbit and on the MOON or near other planets will lead to the need to perform a huge amount of work in the absence or with low gravity, including (in particular) temporary fixing of objects of various masses, types and surface conditions, their capture, orientation in space, etc. All these operations can be implemented using the phenomenon of electrically stimulated "dry" adhesion. ESA will also find various practical applications in terrestrial conditions, such as the creation of devices (grip) for holding and transporting workpieces and parts, adhesive mechanisms for robots, handling units in automated production and warehouse automation in various industries when manipulating relatively small objects.

The ESA phenomenon is the effect of electrostatic attraction between two objects - a "dry" electroadhesive and a solid substrate of different nature, texture, surface profile. The basis of a "dry"

electroadhesive intended for electroadhesive devices is a film (layer, spacer) of an elastic dielectric with a given surface profile and a built-in comb capacitor. The capacitor generates an electric field due to an external voltage source, which polarizes the surface layers of the "dry" adhesive and substrate, providing an increase in adhesive forces.

The report analyzes and classifies the factors that determine the ESA phenomenon, which primarily include the nature, structure and dielectric properties of the elastic film, the geometry of the capacitor electrodes, the magnitude of the applied voltage and the generated electric field, as well as the nature of the substrate and environmental parameters. 33 factors affecting the ESA effect between the electroadhesive and the substrate were identified and considered.

The possibilities and effectiveness of methods for controlling the manifestation of the phenomenon of electrically stimulated "dry" adhesion are considered - direct measurements of the adhesion forces of an electroadhesive with substrates of various nature, as well as control of the polarization of a "dry" adhesive layer and a change in its surface energy by wetting the outer surface with liquid drops of various nature.

Композиционные материалы на основе имитатора лунного грунта для изготовления строительных элементов на Луне

Дегтярев С.В., Куплинова А.Н., Козлов Н.А., Бабаевский П.Г.
МАИ, г. Москва, Россия

В последнее десятилетие во многих странах активно разрабатываются планы по освоению и колонизации Луны, и созданию на ее поверхности необходимой инфраструктуры. При производстве материалов для строительства предстоящей лунной базы наиболее эффективным решением является использование местного сырья, а именно, лунного грунта. В настоящее время предлагается разработка строительных материалов и технологий, основанных на минимизации доставки компонентов материалов с Земли и участия человека, и полной роботизации (автоматизации) процессов. Большое количество предложений по переработке лунного грунта в строительные элементы были основаны на его спекании для создания таких строительных элементов как кирпичи и блоки, из которых планируется изготавливать жилые и хозяйственные модули, посадочные площадки, дороги и т.д.

В работе предлагается для создания лунных построек использовать порошкообразную высоконаполненную полимерную композицию (ПВПК), представляющую собой дисперсию реголита заданного гранулометрического состава с порошкообразным полимером (доставляемым с Земли), которая при плавлении приобретает пластические свойства и/или способность к спеканию при низких затратах энергии, что дает возможность создания строительных конструкций простым методом прессования. После фиксации приданной формы в результате охлаждения материал за счет присутствия относительно небольшого количества полимерной связки ПВПК обеспечивает, с одной стороны, герметичность и монолитность, а с другой – стойкость материала к факторам космического пространства на Луне.

Цель работы состояла в изучении технологических и эксплуатационных свойств ПВПК, полученных на основе имитатора лунного грунта – базальта, из которого получали порошки различного гранулометрического состава (от 0,40до 600 мкм), и полимера в качестве связки - порошки полистирола GPPS компании «HMME» (ПС) (фракция 0,050 -0,100 мкм) и полиамида-6 X028 со средним размером частиц 50 мкм. (ПА). Содержание полимера в ПВПК варьировали от 5 до 30 масс.%.

Для ПВПК различных составов получены зависимости их вязкости от температуры и определено влияние содержания базальта в ПВПК на температуру текучести. Получены зависимости деформационно-прочностных свойств сформированных образцов от соотношения базальт – ПС (ПА) и размера фракции базальта в ПВПК. Установлено, что при увеличении размера частиц наполнителя и содержания полимерной связки увеличиваются прочность и модуль упругости при изгибе и сжатии.

Composite materials based on lunar soil simulator for the manufacture of building elements on the Moon

Degtyarev S.V., Kuplinova A.N., Kozlov N.A., Babaevsky P.G.
MAI, Moscow, Russia

In the last decade, many countries have been actively developing plans for the exploration and colonization of the Moon, and the creation of the necessary infrastructure on its surface. In the production of materials for the construction of the upcoming lunar base, the most effective solution is to use local raw materials, namely lunar soil. Currently, it is proposed to develop building materials and technologies based on minimizing the delivery of material components from the Earth and human participation, and full robotization (automation) of processes. A large number of proposals for the processing of lunar soil into building elements were based on its sintering to create building elements such as bricks and blocks, from which it is planned to make residential and utility modules, landing sites, roads, etc.

In this paper, it is proposed to use a powdered highly filled polymer composition (PHFPC), which is a dispersion of regolith of a given granulometric composition with a powdered polymer (delivered from the Earth), which, when melted, acquires plastic properties and/or the ability to sinter at low energy costs, to create lunar buildings, which makes it possible to create building structures by a simple pressing method. After fixing the given shape as a result of cooling, the material, due to the presence of a relatively small amount of the PHFPC polymer binder, ensures, on the one hand, tightness and solidity, and on the other hand, the resistance of the material to space factors on the Moon.

The purpose of the work was to study the technological and operational properties of PHFPC obtained on the basis of a lunar soil simulator - basalt, from which powders of various particle size distributions (from 0.40 to 600 μm) were obtained, and a polymer as a binder - GPPS polystyrene powders from the HMME company (PS) (fraction 0.050 - 0.100 μm) and polyamide-6 X028 with an average particle size of 50 μm. (PA). The polymer content in PHFPC varied from 5 to 30 wt.%.

For PHFPC of various compositions, the dependences of their viscosity on temperature were obtained, and the effect of the basalt content in PHFPC on the pour point was determined. The dependences of the deformation-strength properties of the formed samples on the ratio of basalt - PS (PA) and the size of the basalt fraction in PHFPC are obtained. It has been established that with an increase in the size of the filler particles and the content of the polymer binder, the strength and modulus of elasticity in bending and compression increase.

Влияние термической обработки на структуру и твердость опытных псевдо-β-титановых сплавов

Заиров А.В., Зайнетдинова Г.Т., Гуртовая Г.В., Ручина Н.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Титановые сплавы псевдо-β класса обладают рядом эксплуатационных особенностей: высокой технологической пластичностью, низким удельным весом, высокой твердостью, близкой к применяемым сталям.

Проведенные ранее исследования позволили подобрать химический состав опытных псевдо-β сплавов, а визуальный осмотр слитков и анализ их микроструктуры позволили выбрать три состава: Ti–6Al–4V–1Mo–1Cr–3,5Fe (1), Ti–6Al–4V–1Mo–1Cr–3,5Fe–2Sn–2Zr (2), Ti–6Al–4V–1Mo–1Cr–3,5Fe–2Sn–2Zr–0,15C(3). Структура выбранных сплавов в литом состоянии однородна и характеризуется большими β-зернами и дисперсными частицами α-фазы.

Изучено влияние деформации на структуру и твердость опытных исследуемых образцов. Микроструктура образцов после ковки очень похожа на структуру сплавов в литом состоянии, т.к. степень деформации при ковке была небольшая и проводилась она в двухфазной (α+β)-области. Дополнительное легирование Zr и Sn понижает критическую скорость охлаждения, поэтому сплав 2 после ковки характеризуется более дисперсными выделениями α-фазы. Твердость составила 40-42 единицы.

Методом пробных закалок была определена температура полиморфного превращения опытных сплавов. После закалки из β-области сплавы имели однотипную структуру, состоящую из равноосных β-зерен, а после закалки из (α+β)-области – (α+β)-структуру. В сплаве Ti–6Al–4V–1Mo–1Cr–3,5Fe–2Sn–2Zr наблюдается максимальное количество первичной α-фазы. После закалки из β-области твердость определяется только степенью легирования β-твердого раствора, которая возрастает от сплава Ti–6Al–4V–1Mo–1Cr–3,5Fe к сплаву Ti–6Al–4V–1Mo–1Cr–3,5Fe–2Sn–2Zr–0,15C: с 29 до 35 HRC, соответственно.

Закалка из (α+β)-области показала, в сплаве Ti–6Al–4V–1Mo–1Cr–3,5Fe–2Sn–2Zr присутствуют наиболее дисперсные частицы α-фазы, что и обеспечивает ему твердость (38 HRC).

Наибольшее количество дисперсной α-фазы выделилось при старении сплавов, закаленных из (α+β)-области. При этом старение сплавов, закаленных из (α+β)-области и непосредственно после ковки дает практически одинаковые результаты. Во всех случаях максимальное упрочнение достигнуто после изотермической выдержки в течение 6 ч. Наибольшее упрочнение показал сплав Ti–6Al–4V–1Mo–1Cr–3,5Fe–2Sn–2Zr–0,15C: 51,5 HRC в случае закалки из β-области и 53,5 HRC при закалке из (α+β)-области.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 22-29-01061) с использованием оборудования ресурсного центра коллективного пользования «Авиационно-космические материалы и технологии» МАИ.

Литература:

1. Ширяев А.А., Ночовная Н.А., Помельникова А.С. Влияние изотермических выдержек на изменение твердости высокопрочного псевдо-β-титанового сплава ВТ47 // Труды ВИАМ. 2019. № 10 (82). С. 25-33.

2. Boyer R.R., Briggs R.D. The use of β titanium alloys in the aerospace industry // Journal of Materials Engineering and Performance. 2005. V. 14. N 6. P. 681–685.

3. Kolli R.P., Devaraj A. A review of metastable beta titanium alloys // Metals. 2018. V. 8. N 7. Art. N 506.

Investigation of the influence of alloying on the hardness of experimental pseudo-β-titanium alloys

Zairov A.V., Zaynetdinova G.T., Gurtovaya G.V., Ruchina N.V.
MAI, Moscow, Russia

Titanium alloys of the pseudo-β class have a number of operational features: high technological ductility, low specific gravity, high hardness.

Previous studies made it possible to select the chemical composition of experimental pseudo-β alloys, and visual inspection of the ingots and analysis of their microstructure made it possible to select three compositions: Ti–6Al–4V–1Mo–1Cr–3.5Fe (1), Ti–6Al–4V–1Mo –1Cr–3.5Fe–2Sn–2Zr (2), Ti–6Al–4V–1Mo–1Cr–3.5Fe–2Sn–2Zr–0.15C(3). The structure of the selected alloys in the cast state is homogeneous and is characterized by large β-grains and dispersed particles of the α-phase.

The effect of deformation on the structure and hardness of experimental test samples has been studied. The microstructure of the samples after forging is very similar to the structure of alloys in the cast state, since the degree of deformation during forging was small and it was carried out in the two-phase (α+β)-region. Additional alloying with Zr and Sn lowers the critical cooling rate; therefore, alloy 2 after forging is characterized by more dispersed precipitates of the α-phase. Hardness was 40-42 HRC units.

The temperature of polymorphic transformation of experimental alloys was determined by the method of test quenching. After quenching from the β-region, the alloys had a structure of the same type, consisting of equiaxed β-grains, and after quenching from the (α+β)-region, they had an (α+β)-structure. In the Ti–6Al–4V–1Mo–1Cr–3.5Fe–2Sn–2Zr alloy, the maximum amount of the primary α-phase is observed. After quenching from the β-region, the hardness is determined only by the degree of alloying of the β-solid solution, which increases from the Ti–6Al–4V–1Mo–1Cr–3.5Fe alloy to the Ti–6Al–4V–1Mo–1Cr–3.5Fe–2Sn alloy –2Zr–0.15C: from 29 to 35 HRC, respectively.

Quenching from the (α+β) region showed that the Ti–6Al–4V–1Mo–1Cr–3.5Fe–2Sn–2Zr alloy contains the most dispersed particles of the α phase, which ensures its hardness (38 HRC).

The largest amount of the dispersed α-phase was released during aging of alloys quenched from the (α+β) region. In this case, the aging of alloys quenched from the (α+β) region and immediately after forging gives practically the same results. In all cases, the maximum hardening was achieved after isothermal holding for 6 h. The highest hardening was shown by the Ti–6Al–4V–1Mo–1Cr–3.5Fe–2Sn–2Zr–0.15C alloy: 51.5 HRC in the case of quenching from the β-region and 53.5 HRC when quenched from (α+β)-region.

The study was supported by the Russian Science Foundation (grant no. 22-29-01061) using the equipment of the resource center for collective use "Aerospace Materials and Technologies" of the Moscow Aviation Institute.

References:

1. A.A. Shiryaev, N.A. Nochovnaya, A.S. Pomelnikova. Effect of isothermal exposures on hardness evolution of high-strength metastable-β-titanium alloy VT47 // Proceedings of VIAM. 2019. No. 10 (82). pp. 25-33.

2. Boyer R.R., Briggs R.D. The use of β titanium alloys in the aerospace industry // Journal of Materials Engineering and Performance. 2005. V. 14. N 6. P. 681–685.

3. Kolli R.P., Devaraj A. A review of metastable beta titanium alloys // Metals. 2018. V. 8. N 7. Art. N 506.

Методика моделирования полимерной матрицы модифицированной ОУНТ вычислительными методами

Ковтунов С.С., Утябаева А.Р., Шрамко К.К., Лупачев Д.К., Дубинец А.О.
МАИ, г. Москва, Россия

Полимерные композиты появившееся в первой половине двадцатого века, к его концу до неузнаваемости изменили облик конструкций, потеснив традиционные материалы, которые использовались веками.

Замена металла на ПКМ в конструкциях летательных аппаратов позволяет снизить массу конструкции на 15-20%, в разы повысить производительность труда. Естественно, что по мере развития науки о ПКМ и разработки технологий их получения доля использования композитов в конструкции самолетов быстро возрастала: если в конструкции Боинга 747 доля композиционных материалов составляла лишь 1 % от массы конструкции, то в конструкции самолета Boeing 787 эта доля выросла до 50 %.

Однако широкая замена металлических конструкций на конструкции из композиционных материалов привела к возникновению ряда проблем, которые особенно ярко проявились при эксплуатации летательных аппаратов.

Возникает парадоксальная ситуация. С одной стороны, использование ПКМ приводит к уменьшению массы летательного аппарата. С другой стороны технологии, которые используют для придания ПКМ функциональных свойств в настоящее время, так или иначе увеличивают массу самолета и усложняют технологию получения конструкции, что снижает эффективность использования композиционных материалов.

Выходом из данной ситуации возможен благодаря модификации полимерных матриц такими нано-размерными включениям, как углеродные нанотрубки (ОУНТ) [1,2].

Однако существует ряд проблем проблем при введении нанотрубок в полимерную матрицу, например, адгезионный контакт поверхностей раздела фаз и диспергировании ОУНТ в расплаве [3]. В связи с этим результаты по определению свойств нанокомпозитов, полученные различными авторами, существенно отличаются друг от друга, а иногда являются прямо противоположными.

Причиной таких отличий, наряду с различием в способах приготовления композитов и качеством исходного сырья могут являться изменения структуры полимерной матрицы, которые инициируются углеродными нанотрубками.

Но несмотря на все вышеперечисленное необходимо аналитически установить физическую зависимосить концентрации наночастиц в полимерной матрице от прочностно-упругих показателей, которая в свою очередь будет верифицирована численными методами [4].

В данной работе планируется:

1) Аналитически построить физическую зависимость концентрации ОУНТ в полимерной матрице от прочностно-упругих свойств.

2) При помощи вычислительной химии выявить прочность отдельных компонентов системы на молекулярном уровне.

3) С полученными данными о свойствах ОУНТ и полимерной матрицы, выполнить расчеты для различных концентраций ОУНТ в системе.

4) Провести корреляцию со значениями, полученными в аналитической модели.

Литература:

1. Цзинь Ю., Юань Ф.Г. Моделирование упругих свойств одностенных углеродных Нанотрубки// 2003.Состав.науч. технол.Вып. 63. № 11._ С. 1507-1515.

2. Растягивающее нагружение канатов из одностенных углеродных нанотрубок и их механическое Свойства/ Ю. М. Ф., Файлс Б. С., Арепалли С. и др. // Phys. Rev. Lett. 2000.V. 84. №24. P. 5552–5555.

3. Шаффер М., Сэндлер Дж. Обработка полимерных композитов из углеродных нанотрубок/нановолокон и Свойства нанокомпозитов // Под ред. С. Г. Адвани, World Scientific, Сингапур. 2006. С. 1-59.

4. Лури О., Вагнер Х. Оценка модуля Юнга углеродных нанотрубок методом микрорамановой спектроскопии // J.Mater.Res. 1998.V.13. № 9. С. 2418-2422.

The method of modeling a polymer matrix modified by SWCNT computational methods

Kovtunov S.S., Utiabaeva A.R., Shramko K.K., Lupachev D.K., Dubinets A.O.

MAI, Moscow, Russia

Polymer composites appeared in the first half of the twentieth century, by its end they had changed the appearance of structures beyond recognition, displacing traditional materials that had been used for centuries.

Replacing metal with PCM in aircraft structures allows reducing the weight of the structure by 15-20%, significantly increasing labor productivity. Naturally, with the development of the science of PCM and the development of technologies for their production, the share of the use of composites in the design of aircraft increased rapidly.

However, the widespread replacement of metal structures with structures made of composite materials led to a number of problems that were particularly pronounced during the operation of aircraft.

A paradoxical situation arises. On the one hand, the use of PCM leads to a decrease in the mass of the aircraft. On the other hand, the technologies that are currently used to give the PCM functional properties somehow increase the weight of the aircraft and complicate the technology of obtaining the structure, which reduces the efficiency of using composite materials.

The way out of this situation is possible due to the modification of polymer matrices by such nano-dimensional inclusions as carbon nanotubes (CNTs) [1,2].

However, there are a number of problems with the introduction of nanotubes into the polymer matrix, for example, the adhesive contact of the phase interfaces and the dispersion of SWCNT in the melt [3]. In this regard, the results on the determination of the properties of nanocomposites obtained by various authors, they differ significantly from each other, and sometimes they are directly opposite.

The reason for such differences, along with the difference in the methods of preparation of composites and the quality of the feedstock may be changes in the structure of the polymer matrix, which are initiated by carbon nanotubes.

But despite all of the above, it is necessary to analytically establish the physical dependence of the concentration of nanoparticles in the polymer matrix on the strength-elastic parameters, which in turn will be verified by numerical methods [4].

In this work, it is planned:

1) Analytically construct the physical dependence of the concentration of SWCNT in the polymer matrix on the strength-elastic properties.

2) Using computational chemistry to identify the strength of individual components of the system at the molecular level.

3) With the obtained data on the properties of SWCNT and polymer matrix, perform calculations for different concentrations of OUNT in the system.

4) Correlate with the values obtained in the analytical model.

References:

1. Jin Yu., Yuan F.G. Modeling of elastic properties of single-walled carbon Nanotubes// 2003.Composition.scientific. technol.Issue 63. No. 11._ pp. 1507-1515.

2. Tensile loading of ropes made of single-walled carbon nanotubes and their mechanical Properties/ Yu. M. F., Files B. S., Arepalli S. et al. // Phys. Rev. Lett. 2000.V. 84. No.24. P. 5552-5555.

3. Shaffer M., Sandler J. Processing of polymer composites from carbon nanotubes/nanofibers and Properties of nanocomposites // Edited by S. G. Advani, World Scientific, Singapore. 2006. pp. 1-59

4. Lurie O., Wagner H. Evaluation of the Young's modulus of carbon nanotubes by micro-raman spectroscopy // J.Mater.Res. 1998.V.13. No. 9. pp. 2418-2422.

Опыт производства бескерновой текстильно-перерабатываемой SiC-нити в АО «Композит»

Князев К.А., Тимофеев А.Н., Тимофеев П.А., Цыцаркина Д.В.
АО «Композит», г. Королев, Россия

Постоянное повышение характеристик изделий энергетического машиностроения требует внедрение новых материалов, обладающих высокими механическими свойствами при повышенных температурах в условиях окислительных сред.

Применяемые на сегодня композиционные материалы на основе углеродных волокон не могут обеспечить долговременность работы в окислительных средах при температурах выше 600 ºС. Это связано с тем, что углеродное волокно активно окисляется и выгорает в окислительной среде. При этом время работы композитов с сохранением свойств в таких средах должно исчисляться часами. Удовлетворение данного требования возможно применением композиционных материалов, в которых в качестве наполнителя используются керамические высокотемпературные волокна. Особый интерес представляют композиционные материалы с металлической или керамической матрицами, армированные керамическими карбидокремниевыми волокнами, как наиболее перспективного материала, работоспособного при температурах 1200 °С и выше. За рубежом освоено производство керамического карбидокремниевого волокна трех различных поколений, а композиционные материалы успешно внедрены в различных изделиях атомной и аэрокосмической промышленности.

В докладе описывается опыт в части производства бескерновой текстильно перерабатываемой многофиламентной SiC-нити: формование непрерывной многофиламентной полимерной нити-предшественника из прекурсора поликарбосилана, методы пространственной сшивки полимерной нити-предшественника для получения SiC-нити различных поколений, свойства полученной SiC-нити, опыт текстильной переработки в преформы.

В заключении рассказывается о перспективах развития и масштабирования производства бескерновой неперерывной SiC-нити для нужд российской промышленности.

Coreless textile SiC fiber experience of production in JSC Composite

Knyazev K.A., Timofeev A.N., Timofeev P.A., Tsytsarkina D.V.
JSC Composite, Korolev, Russia

The constant improvement of the characteristics of power engineering products requires the introduction of new materials with high mechanical properties at elevated temperatures in oxidizing environments.

Composite materials based on carbon fibers used today cannot ensure long-term operation in oxidizing environments at temperatures above 600ºC. This is due to the fact that carbon fiber is actively oxidized and burns out in an oxidizing environment. At the same time, the operating time of composites with the preservation of properties in such enviroment should be calculated in hours. Satisfaction of this requirement is possible by using composite materials in which ceramic high-temperature fibers are used as a filler. Of particular interest are composite materials with a metal or ceramic matrix, reinforced with ceramic silicon carbide fibers, as the most promising material capable of operating at temperatures of 1200°C and above. Abroad, the production of ceramic silicon carbide fibers of three different generations has been mastered, and composite materials have been successfully introduced in various products of the nuclear and aerospace industries.

The report describes the experience in the production of a coreless textile multifilament SiC fiber: spinning a continuous multifilament polymer precursor fiber from a polycarbosilane precursor, methods for spatial cross-linking of a precursor polymer fiber to obtain SiC fiber of various generations, properties of the resulting SiC fiber, experience in textile processing into preforms.

In conclusion, it is told about the perspectives for the development and scaling of the production of coreless continuous SiC filament for the needs of the Russian industry.

Автоматизированное распознавание, сегментирование и классификация дефектов в металлопорошковых композициях

Коробов К.С., Рипецкий А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

На сегодняшний день существует множество технологий печати металл порошковыми композициями. Данной направление претерпевает активное развитие на сегодняшний день, однако присутствуют существенные трудности контроля технологических процессов и как следствие контроля качества создаваемых изделий. Авторы данной работы предлагают использовать разработанную ими методику автоматизированного распознавания, сегментации и классификации дефектов в подобных деталях. Для анализа используются методы машинного зрения и элементы машинного обучения, позволяющие обобщить результаты анализа. Предложенная методика может быть использована для получения полуэмпирических зависимостей между качественными характеристиками деталей и технологическими параметрами печати. Подобный подход позволяет выделить с достаточной точность не только объемное содержание пористости, но и распределение по размеру и формы частиц.

В последние годы использование металлопорошковых композиций в аддитивном производстве привлекает все большее внимание промышленности для производства функциональных компонентов. Детали, произведенные аддитивным способом, сочетают в своей конструкции инновационные формы, реализующие максимальные коэффициенты массы к весу, и современные материала, которые в некоторых случаях трудно или даже невозможно изготовить традиционными методами. В этой связи обеспечение качества и воспроизводимости деталей, произведенных аддитивным способом, необходимо для соблюдения строгих требований, налагаемых сертификационными стандартами с одной стороны и потребностями в инновационных решениях со стороны таких областей как медицина и аэрокосмическая промышленность. Тем не менее, отсутствие надежности, стабильности и воспроизводимости подобных процессов ставит отрасль в трудную ситуацию. В частности, это может быть связано с бимодальное распределение частиц, когда мелкие частицы порошка занимают собой пустое пространство между более крупными частицами. Во время атомизации газ, в атмосфере которого проходило создание порошка, может попасть

внутрь самих гранул, что также влияет на качество конечного изделия. При плавлении металлокомпозиции газ высвобождается, объединяется, являясь причиной формирования более крупных пор внутри обработанного материала.

Действительно, несмотря на значительный технологический прогресс, процент брака все еще слишком высок по сравнению с традиционными производственными методами. Для решения проблемы воспроизводимости деталей разработана методология мониторинга процессов, основанных на анализе снимков компьютерной томографии (КТ), а также учете параметров порошкового сырья с электронного микроскопа. Основной упор сделан на распознавании дефектов по КТ снимкам и их классификации по форме и суммарной площади. Реализовано разделение межслойных дефектов, в данной работе не рассматриваются, с дефектами пористости. Подобное решение возможно использование не только в аддитивном производстве, но и для композитных изделий, когда в следствии различного термоциклирования возможно образование пор в слоистых структурах. Так, в частности, предложенный метод применялся для СИАЛов при термоциклировании.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер темы FSFF-2020-0017.

Automated recognition, segmentation and classification of defects in metal powder compositions

Korobov K.S., Ripetsky A.V.
MAI, Moscow, Russia

Nowadays there are many technologies for printing metal powder compositions. This field is undergoing active development today, however, there are significant requirements for the control of technological processes and, as a result, quality control of components. The authors of this work have developed a technique for simulating a potential lesion, segmenting and detecting defects in detail. For analysis, machine vision methods and elements of machine learning are used, including generalizing the results of the analysis. The proposed method can be used to obtain semi-empirical relationships between the quality characteristics of parts and the technological parameters of printing. the probability that the approach can be distinguished with sufficient accuracy is not limited only by the volume of porosity content, but also occurs in the size and shape of individual particles.

In recent years, the use of metal powder compositions in additive manufacturing has attracted increasing industry attention to the production of functional components. Parts produced by additive methods combine in their design innovative shapes that realize maximum mass-to-weight ratios and advanced materials that, in some hard-to-find cases, are even impossible to manufacture and fabricate by methods. In this regard, ensuring the quality and reproducibility of additively produced parts is necessary to ensure stringent sustainability performance, persistent certification standards on the one hand, and identified at the beginning of the development of solutions related to research such as medicine and aerospace. However, the lack of reliability, stability and reproducibility of processes is manifested in a difficult situation. In particular, this may be due to the bimodal particle impact, when fine powder particles belong to the empty space between more scattered particles. During the atomization of the gas, in the environment of which the ingress of powder occurs, direct ingress of particles can be observed, which is also noticeable in the quality of the final product. When melting metal compositions, gas is released, occurs, resulting in the formation of larger pores inside the processed material.

Indeed, despite significant technological advances, the scrap rate is still too high compared to using production methods. To solve the problem, a detail reproducibility methodology has been developed based on the analysis of computed tomography (CT) measurements, as well as taking into account the parameters of powder powder with a microscope particle. The main emphasis is placed on the recognition of defects by CT images and their detection by the shape and size of the area. Separation of interlaminar defects has been implemented; in this paper, the problem with porosity defects is not considered. Such a solution is possible when used not only in additive manufacturing, but also for composite products, when, as a result of light thermal cycling, the formation of pores in the layers of

structures is possible. Thus, in particular, the proposed method is used for SIALs during thermal cycling.

The work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Education and Science of Russia, topic number FSFF-2020-0017.

Изучение термоокислительной стабильности фталонитрильных матриц в изотермических и динамически условиях

[1]Лобанова М.С., [1]Булгаков Б.А., [2]Кепман А.В., [2]Бабкин А.В.
[1]МГУ, [2]ИНУМиТ, г. Москва, Россия

Материал, применяемый для изготовления конструкций, эксплуатируемых при высоких температурах, должен сохранять свои высокие механические свойства во всем интервале рабочих температур. При повышении температуры на свойства материала может оказывать негативное влияние такое явление как термическое окисление. В следствие этого изучение термоокислительной стабильности материала является важным этапом при его разработке.

Целью данной работы является изучение термоокислительной стабильности фталонитрильных матриц, применяемых в изготовлении полимерных композиционных материалов с температурой эксплуатации до 350°С.

В данной работе исследовали три состава фталонитрильных связующих (PN-1, PN-2, PN-3), постотвержденных при температурах 330°С, 350°С и 375°С. Для данных материалов была изучена термоокислительная стабильность в динамических и изотермических условиях. Исследование в динамическом режиме проводили методом термогравиметрии в окислительной атмосфере воздуха при скоростях нагрева 2, 5, 10 и 20 °С/мин. Исследование в изотермическом режиме заключалось во взвешивании образцов через заданные промежутки времени во время выдержки при температуре 280, 300, 330 или 350°С в течение 200 ч.

В результате было установлено, что процесс термического окисления фталонитрильных матриц можно описать четырехстадийным процессом, состоящим из последовательно-параллельных реакций. Наибольший интерес для практического применения представляет первая стадия, которая соотносится с интервалом предполагаемых рабочих температур. Для образцов составов PN-1 и PN-2, постотвержденных при 330°С, данная стадия описывается диффузионным процессом, для состава PN-3 – реакцией н-ного порядка с автокатализом. Первая стадия термического окисления PN-1, PN-2 и PN-3, постотвержденных при 350°С и 375°С также описывается реакцией н-ного порядка с автокатализом. Энергии активации, рассчитанные при исследовании методом ТГА и в изотермических условиях, сопоставимы и находятся в диапазоне 80-120 кДж/моль. Термоокислительную стабильность исследуемых образцов также оценивали по изменению физико-химических и механических характеристик, таких как температура стеклования и прочность при изгибе. Было установлено, что при термическом старении увеличивается температура стеклования материала более чем на 100°С. Прочность при изгибе для состава PN-3 при старении при 280°С в течение 200 ч снижается незначительно и составляет 100 МПа. При старении при более высоких температурах наблюдается снижение прочности в два раза. PN-1 и PN-2 наблюдалось аналогичное изменение механических характеристик.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 22-13-00449.

Study of the thermal-oxidative stability of phthalonitrile matrices under isothermal and dynamic conditions

[1]Lobanova M.S., [1]Bulgakov B.A., [2]Kepman A.V., [2]Babkin A.V.
[1]MSU, [2]INCMaT, Moscow, Russia

The material used for the manufacturing of at high temperature operating structures must retain its high mechanical properties throughout the entire range of operating temperatures. The properties of material may affect negatively by thermal oxidation at high temperatures. Therefore, it is important to study materials thermal-oxidative stability.

The aim of this work is to the thermal-oxidative stability of phthalonitrile matrices used in the manufacture of polymer composite materials with operating temperatures up to 350°C.

The thermal-oxidative stability of three compositions of phthalonitrile resins (PN-1, PN-2, PN-3) post-cured at temperatures of 330°C, 350°C, and 375°C have been studied. The experiment was conducted at dynamic and isothermal modes. The study in dynamic mode was carried out by thermogravimetry in an air atmosphere at heating rates of 2, 5, 10, and 20 °C/min. The study in the isothermal mode consisted in weighing the samples at specified time intervals during ageing at a temperature of 280, 300, 330 or 350°C for 200 hours.

It was found that the process of thermal oxidation of phthalonitrile matrices can be described by a four-stage process consisting of series-parallel reactions. The first stage is of practical interest, because it correlates with expected operating temperatures of these materials. So, the first stage of thermal oxidation of PN-1 and PN-2 compositions, post-hardened at 330°C is described by a diffusion process, while for the PN-3 composition – by an n-order reaction with autocatalysis. The last one also corresponds to the first stage of thermal oxidation of PN-1, PN-2 and PN-3 phthalonitrile compositions post-cured at 350°C and 375°C. The activation energies calculated by the TGA method and under isothermal conditions are comparable and are in the range of 80–120 kJ/mol. The thermal-oxidative stability of the studied samples was also evaluated by changes in physicochemical and mechanical characteristics, such as glass transition temperature and flexural strength. It was found that the glass transition temperature increases by more than 100°C during the material thermal aging. The flexural strength of the PN-3 composition is 100 MPa and it decreases insignificantly during 200 h thermal aging at 280°C. The flexural strength reduces by half during thermal aging at higher temperatures. PN-1 and PN-2 showed a similar change in mechanical characteristics.

This work was supported by the Russian Science Foundation, Grant no. 22-13-00449.

Влияние нагрева на контактное взаимодействие углерод-углеродных композиционных материалов трибологического назначения

Любичева А.Н., Цуканов И.Ю.
ИПМех РАН, г. Москва, Россия

Работа посвящена исследованию контактного взаимодействия углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ) с учетом микроструктуры композита и внешнего нагрева контактной пары. Проведен анализ изменения теплофизических свойствкомпозитовс ростом температуры. Из литературных источников [1] установлено, что коэффициент температурного расширения (КТР) существенно зависит от температуры и изменяется по линейной зависимости в диапазоне работы высокотемпературных узлов трения.

Математическая постановка задачи связана с экспериментальными трибологическими исследованиями в сопряжениях двух типов. Первый тип составлен из керамических и стальных колец, взаимодействующих по торцу с диском, выполненным из тканого композита. При этом слои ткани расположены параллельно контактной поверхности. Второй тип представляет собой обратную пару – жесткий диск, стальной или керамический, взаимодействует с кольцом из УУКМ, при этом слои ткани расположены перпендикулярно поверхности. Подобные контактные схемы применяются для моделирования работы различных узлов трения, например, упорных подшипников. В работе обсуждаются предварительные результаты испытаний.

Для исследования влияния внешнего нагрева представлена модель контактного термоупругого взаимодействия кольцевого штампа с плоским основанием и полупространства, соответствующая схеме испытаний УУКМ. Модель позволяет оценить влияние неравномерного по ширине кольца нагрева на контактные характеристики, а именно на контактное давление и осадку штампа. При этом учитывается зависимость коэффициента температурного расширения композиционного материала от температуры, неравномерно распределенной по ширине кольца. Получено распределение контактных давлений для различных зависимостей температуры от радиальной координаты и углового коэффициента графика КТР от температуры. Проведен анализ влияния температуры на напряженно-деформированное состояние полупространства в зависимости от различных исходных условий.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 19-19-00548 П).

1. LuoR., LiuT., LiJ.et al.Thermophysical properties of carbon/carbon composites and physical mechanism of thermal expansion and thermal conductivity // Carbon.2004V. 42.No. 14. P. 2887-2895.

Influence of heating on the contact interaction of carbon-carbon composite materials using for tribojoints

Lyubicheva A.N., Tsukanov I.Yu.
IPMech RAS, Moscow, Russia

The present study is concerning to contact interaction of carbon-carbon composite materials (CCCM) taking into account the microstructure of the composite and external heating of the contact pair. An analysis is presented with respect to dependence of the thermophysical properties of composites on temperature. It was established by literature survey that the coefficient of thermal expansion (CTE) significantly depends on temperature and varies linearly in the range of operation of high-temperature friction units [1].

The mathematical formulation of the problem is associated with experimental tribological studies in two types of tribocouples. The first type is composed of ceramic and steel rings interacting by its end faces with a disk made of a woven CCCM. In this case, the tissue layers are located parallel to the contact surface. The second type is a reverse pair - a hard disk, steel or ceramic, interacts with a CCCM ring, while the tissue layers are located perpendicular to the surface. Such contact schemes are used to simulate the operation of various friction units, for example, thrust bearings. The paper discusses preliminary test results.

To study the effect of external heating, a model of the contact thermoelastic interaction of an annular punch with a flat base and a half-space is presented, which corresponds to the CCCM test scheme. The model makes it possible to evaluate the effect of heating, which is uneven along the ring width, on the contact characteristics, namely, on the contact pressure and the punch penetration depth. This takes into account the dependence of the coefficient of thermal expansion of the composite material on the temperature unevenly distributed over the ring width. The distribution of contact pressures is obtained for various dependences of temperature on the radial coordinate and the angular coefficient of the CTE plot on temperature. The influence of temperature on the stress-strain state of a half-space is analyzed depending on various initial conditions.

This work was supported by the Russian Science Foundation (grant no. 19-19-00548 П).

1. LuoR., LiuT., LiJ.et al.Thermophysical properties of carbon/carbon composites and physical mechanism of thermal expansion and thermal conductivity // Carbon.2004V. 42.No. 14. P. 2887-2895.

Получение покрытий на УККМ из порошковой композиции Mo-HfSi2-SiB4 методом реакционного синтеза in situ

Матуляк А.И., Астапов А.Н., Прокофьев М.В., Терентьева В.С.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время перспективными материалами для теплонагруженных элементов ракетно-космической техники являются жаропрочные углерод-керамические композиционные материалы (УККМ). Однако при эксплуатации в кислородосодержащих средах данные материалы, начиная с температур около 400-450 °С, окисляются и постепенно теряют свою работоспособность. Одним из эффективных способов их защиты от высокотемпературного окисления является нанесение жаростойких покрытий [1, 2].

Данная работа является продолжением исследований, направленных на создание жаростойких покрытий на основе силицидно-боридных систем [3, 4]. В ходе работы методом реакционного синтеза in situ на поверхности УККМ класса Cf/C-SiC удалось сформировать покрытия из порошковой композиции Mo-HfSi2-SiB4 при 1620 °С и остаточном давлении аргона ~ 1 Па. Микроструктура и фазовый состав сформированных слоев были исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопии, энергодисперсионного анализа и рентгеновского фазового анализа. Обнаружено, что сформированный слой представляет собой высокопористую каркасную структуру, которая состоит из MoB, MoSi2, HfB2 и

небольшого количества (~ 2 мас.%) HfB. Преобладающей фазой является MoB, значительное количество которой располагается в верхней части сформированного слоя. Фаза MoSi2 преимущественно расположена в нижней части слоя, в некоторых областях заметно ее обволакивание MoB. Частицы HfB2 относительно равномерно распределены по всей толщине слоя.

Предложен механизм реакционного взаимодействия в системе Mo-HfSi2-SiB4. В процессе термической обработки происходит образование расплавов на основе кремния. С одной стороны, за счет разложения SiB4 на SiB6 и Si с последующим растворением SiB6 в расплаве. С другой стороны, происходит инконгруэнтное плавление HfSi2 с образованием расплава на основе кремния и HfSi с последующим растворением HfSi в расплаве. Фаза MoSi2 образуется при диффузионном насыщении молибдена кремнием в условиях его частичного испарения. Фазы MoB, HfB2 и HfB образуются в результате взаимодействия Mo и B, Hf и B в расплавах. Проанализированы основные причины высокой пористости синтезированных слоев.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-01476, https://rscf.ru/project/22-29-01476/.

Литература:

1. Астапов А.Н., Жаворонок С.И., Курбатов А.С., Рабинский Л.Н., Тушавина О.В. Основные проблемы при создании систем тепловой защиты на базе структурно-неоднородных материалов и методы их решения // Теплофизика высоких температур. – 2021. – Т. 59, No. 2. – С. 248–279.

2. Астапов А.Н., Терентьева В.С. Жаростойкие покрытия с повышенной эрозионной стойкостью в гиперзвуковых потоках воздушной плазмы // Коррозия: материалы, защита. – 2017. – No. 11. – С. 1 – 10.

3. Астапов А.Н., Погодин В.А., Сукманов И.В., Матуляк А.И. Синтез in situ матриц жаропрочных композиционных материалов и жаростойких защитных покрытий // Тезисы докладов 20 Международной конференции «Авиация и космонавтика». Москва, 22 – 26 ноября 2021 г. – М.: Изд-во «Перо», 2021. – С. 475 – 476.

4. Астапов А.Н. Матуляк А.И. Получение покрытий на основе MoSi2 методом реакционного синтеза // Электрометаллургия – 2022. – №. 8. – С. 20 – 32.

Obtaining coatings on CCCM from Mo-HfSi2-SiB4 powder composition by in situ reaction synthesis method

Matulyak A.I., Astapov A.N., Prokofiev M.V., Terentieva V.S.
MAI, Moscow, Russia

At present, heat-proof carbon-ceramic composite materials (CCCM) are promising materials for heat-loaded elements of rocket and space technology. However, during operating in oxygen-containing environments these materials starting from temperatures around 400-450 °C are oxidized and gradually lose their performance. One of the effective ways to protect them from high-temperature oxidation is the application of heat-resistant coatings [1, 2].

This study is a continuation of research aimed at creating of heat-resistant coatings based on silicide-boride systems [3, 4]. During study by in situ reaction synthesis on the surface of Cf/C-SiC class CCCM, it was possible to form coatings from the Mo-HfSi2-SiB4 powder composition at 1620 °C and a residual argon pressure of ~ 1 Pa. The microstructure and phase composition of the formed layers were investigated using scanning electron microscopy, energy dispersive analysis and X-ray phase analysis. It was found that the formed layer is a highly porous framework structure, which consists of MoB, MoSi2, HfB2 and a small amount (~2 wt %) of HfB. The predominant phase is MoB, a significant amount of which is located in the upper part of the formed layer. The MoSi2 phase is predominantly located in the lower part of the layer; in some areas it is noticeably enveloped by MoB. HfB2 particles are relatively evenly distributed over the entire thickness of the layer.

A mechanism of reaction interaction in the Mo-HfSi2-SiB4 system has been proposed. During heat treatment silicon-based melts are formed. On the one hand, it happens due to the decomposition of SiB4 into SiB6 and Si followed by the dissolution of SiB6 in the melt. On the other hand, incongruent melting of HfSi2 occurs with the formation of a melt based on silicon and HfSi followed by

dissolution of HfSi in the melt. The MoSi2 phase is formed during diffusion saturation of molybdenum with silicon under conditions of its partial evaporation. The MoB, HfB2, and HfB phases are formed because of the interaction of Mo and B, Hf and B in melts. The main reasons for the high porosity of the synthesized layers have been analyzed.

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-29-01476, https://rscf.ru/project/22-29-01476/.

References:

1. Astapov A.N., Zhavoronok S.I., Kurbatov A.S., Rabinskiy L.N., Tushavina O.V. Main problems in the creation of thermal-protection systems based on structurally heterogeneous materials and the methods of their solution: A Review // High Temperature. – 2021. – Vol. 59, No. 2–6. – P. 346–372. DOI: 10.1134/S0018151X21020012.

2. Astapov A.N., Terentieva V.S. Heat-resistant coatings with increased erosion resistance in hypersonic air plasma flows // Corrosion: materials, protection. – 2017. – No. 11. – P. 1 – 10 (in Russian).

3. Astapov A.N., Pogodin V.A., Sukmanov I.V., Matulyak A.I. In situ synthesis of heat-proof composite materials matrices and heat-resistant protective coatings // Abstracts of the 20th International Conference «Aviation and Cosmonautics». 22-26 November 2021. Moscow. Abstracts. – Publishing house «Pero», 2021. – P. 476.

4. Astapov A.N., Matulyak A.I. Obtaining coatings based on MoSi2 by the method of reaction synthesis // Electrometallurgy. – 2022. – No. 8. – P. 20 – 32 (in Russian).

Эпоксибисмалеимидное расплавное связующее для инфузионных технологий формования слоистых стекловолокнистых композитов

Мосиюк В.Н., Бухаров С.В.
МАИ, г. Москва, Россия

В современном авиастроении происходит интенсивный переход к производству облегченных элементов конструкции радиотехнического назначения из слоистых полимерных композиционных материалов на основе армирующих стеклянных волокон и полимерных отверждающихся (термореактивных) связующих. Часто подобные конструкции производятся в интегральном исполнении. В настоящее время наибольшее применение при изготовлении композитов находят эпоксидные связующие. Однако, допустимые температуры эксплуатации эпоксикомпозитов не превышают 120-150 оС. Значительно большей теплостойкостью обладают композиты на основе бисмалеимидных связующих, температура эксплуатации которых составляет 200-250 оС [1]. Недостатками бисмалеимидных связующих является их хрупкость. Создание расплавного связующего на основе комбинации эпоксидных и бисмалеимидных смол позволяет за счет бисмалеимидной составляющей повысить теплостойкость композитов, а за счет эпоксидной – обеспечить технологичность исходных препрегов и использовать инфузионные способы [2] их переработки в изделия требуемой формы и габаритов.

В настоящей работе для создания связующего с повышенной теплостойкостью отвержденных полимеров на их основе, использовали азотсодержащую эпоксидную смолу ЭХД (тетраглицидиловое производное 3,3’-дихлор-4,4’-диаминодифенилметана), ЭПАФ (N,N-диглицидил – 4 - глицидилоксианилин, триглицидиловый эфир парааминофенола) и N,N’-гексаметиленбисмалеимид (ГМБМИ), а в качестве отвердителя - диаминодифенилсульфон (ДДС). Отработаны условия безрастворного смешения компонентов, обеспечивающие изготовление связующих с требуемым сочетанием реологических и термохимических свойств. Определены эффекты тепловыделения и химической усадки при отверждении разработанных связующих по заданному режиму. Установлено отсутствие химического взаимодействия эпоксидных олигомеров с бисмалеимидным в исходном и отвержденном состоянии, образование системы взаимопроникающих сеток в аморфной структуре отверждения полимерной матрицы и достижение повышенной теплостойкости до 200о С, трещиностойкости до 2,2 МПа·м1/2 и диэлектрических свойств Ɛ=3,7 и tg=0,012 при частоте 1кГц. Изучены процессы смачивания

связующими поверхности элементарных стеклянных волокон, отработана технология изготовления пленочных клеевых препрегов на основе ткани Т-10-14 и технологии вакуумной инфузии связующего в объем стеклотканного пакета с последующим его отверждением по заданному режиму, обеспечивающей формование слоистого стеклокомпозита с пористостью не выше 0,5 об. %, низкими параметрами влагопоглощения, до 3 % масс, высокой теплостойкостью до 200 о С и показателями термического расширения 1,2·10-5 оС-1, и механических свойств при комнатной температуре: трещиностойкостью G1c = 698 Дж/м1/2, разрушающим напряжением при сжатии – 515МПа, изгибе – 751 МПа и межслоевом сдвиге – 55,9 МПа.

Литература:

1. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Ким М.А., Бабин А.Н. – Расплавные связующие для перспективных методов изготовления ПКМ нового поколения – «Авиационные материалы и технологии». Научно-технический сборник. 2012 г. Приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии» с.260-265.

2. Тимошков П.Н., Хрульков А.В., Язвенко Л.Н., Усачева М.Н. Композиционные материалы для безавтоклавной технологии (обзор) // Труды ВИАМ – 2018.- № 3 (63).

Epoksybismaleimide resin system for infusion technology of layered glass-fiber composites

Mosiuk V.N., Bukharov S.V.

MAI, Moscow, Russia

In modern aircraft industry there is an intensive transition to production the facilitated design elements of radio engineering appointment out of layered glass-fiber composites maded from the reinforcing glass fibers and the polymeric cured (thermoreactive) resin. Similar designs are often made in integrated execution. At the moment the greatest application at production of composites is found by epoxy resins. However admissible temperatures of operation of epoxycomposites do not exceed 120-150 oC. Considerably higher heat resistance have composites on the basis of bismaleimide resins which temperature of operation is nearly

200-250 oC [1]. Shortcomings of bismaleimide resins is their fragility.

Creation of melt resin on the basis of a combination of epoxy and bismaleimide resins allows to increase heat resistance of composites at the expense of a bismaleimide component, and at the expense of epoxy – to provide technological effectiveness of initial prepreg and to use infusional ways [2] of their processings in products of the required form and dimensions.

In this work for creation resin with the increased thermal stability of the cured polymers on their basis, used the two epoxy resins, N,N '-geksametilenbismaleimide (GMBMI), and as a hardener - diaminodifenilsulfon (DDS). The conditions of non-solvent mixture of components providing production binding with the required combination of rheological and thermochemical properties are fulfilled. Effects of a thermal emission and chemical shrinkage when hardening developed binding on the set mode are defined. Lack of chemical interaction of epoxy oligomer with bismaleimide in the initial and cured state, formation of system of the interpenetrating grids in amorphous structure of hardening of a polymeric matrix and achievement of the increased heat resistance to 200o with is established, to crack resistance to 2,2 МПа·м1/2 and dielectric properties Ɛ=3,7 and tg=0,012 with a frequency of 1 kHz.

Wetting processes of the surfaces of elementary glass fibers are studied, the manufacturing techniques of film-glue prepreg on the basis of T-10-14 fabric and technology of the vacuum infusion of a fiber-glass package, of the subsequent its hardening for the set mode providing formation of a layered fiber-glass with porosity not higher than 0,5 %, low parameters of moisture absorption, up to 3% of masses, high heat resistance to 200 o C with and indicators of thermal expansion 1,2·10-5 oC-1, and mechanical properties at the room temperature: crack resistance of G1c = 698 J/м1/2, compressive strength – 515 MPas, flexural strength – 751 MPa and interlayered shift – 55,9 MPas.

References:

1. Mukhametov R.R., Akhmadieva K.R., Kim M.A., Babin A.N. – Melt resins for modern technics of manufacture PCM of new generation – «Aviation materials and technologies». Scientific and technical set. 2012. p.260-265.

2. Timashkov P.N., Hrulkov A.V., Jazvenko L.N., Usacheva M.N. Composite materials for out-of-autoclave technology (review) // Works of VIAM – 2018.- № 3 (63).

Исследование технологических особенностей процесса электронно-лучевой пайки трубчатых теплообменников с трубными досками

Никитина Е.В., Степанов К.П., Арсёнов А.В.
МАИ, г. г. Москва, Россия

Одной из основных задач современного авиастроения является повышение надежности и качества изделий авиационной техники, а также снижение их себестоимости. Эта задача особенно актуальна и важна для ответственных агрегатов и узлов систем самолетов и двигателей. К ним, в частности, относятся теплообменные аппараты систем кондиционирования и топливно-масляных систем, обеспечивающих работоспособность двигателя и жизнедеятельность экипажа.

Целью данной работы является анализ причин возникновения дефектов при пайке трубчатых теплообменников из стали Х18Н9Т и разработка новой технологии пайки с применением нагрева электронным лучом. В результате изготовления теплообменника по существующей технологии происходит образование такого дефекта, как непропай. Для установления причин возникновения непропаев и нахождения способов их устранения или уменьшения до регламентированных значений, был проведен комплекс исследований, а именно анализ существующих методов пайки компактных трубчатых теплообменников.

Проведен анализ характера взаимодействия ряда припоев с основным материалом, проведены теоретические исследования вопросов дозировки и распределения припоя при пайке теплообменников и получены их аналитические решения, проведен анализ характера растворения тонкостенных элементов в паяных соединениях трубчатых теплообменников. На основании проведенных исследований разработан принципиально новый способ пайки теплообменников из стали Х18Н9Т, разработан технологический процесс механизированной бесфлюсовой пайки в вакууме с использованием электронно-лучевой сварочной установки.

Investigation of technological features of the process of electron beam soldering of tubular heat exchangers with pipe boards

Nikitina E.V., Stepanov K.P., Arsenov A.V.
MAI, Moscow, Russia

One of the main tasks of modern aircraft engineering is to increase the reliability and quality of aircraft products, as well as to reduce their cost. This task is especially relevant and important for responsible units and components of aircraft and engine systems. These, in particular, include heat exchangers of air conditioning systems and fuel-oil systems that ensure the engine's operability and the crew's vital activity.

The purpose of this work is to analyze the causes of defects in the soldering of tubular heat exchangers made of steel X18N9T and the development of a new soldering technology using electron beam heating. As a result, of the manufacture of the heat exchanger according to the existing technology, the formation of such a defect as a non-solder occurs. In order to establish the causes of non-soldering and find ways to eliminate them or reduce them to regulated values, a set of studies was carried out, namely, an analysis of existing methods of soldering compact tubular heat exchangers.

The analysis of the nature of the interaction of a number of solders with the base material was carried out, theoretical studies of the dosage and distribution of solder during soldering of heat exchangers were carried out and their analytical solutions were obtained, the analysis of the nature of dissolution of thin-walled elements in soldered joints of tubular heat exchangers was carried out. Based on the conducted research, a fundamentally new method of soldering heat exchangers, made of steel X18N9T, has been developed a technological process of mechanized flux-free soldering in vacuum using an electron beam welding unit has been developed.

Метод контактной разности потенциалов в неразрушающем контроле деталей авиационной техники

Олешко В.С., Гончаренко В.И.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время в авиастроении широко используются многокомпонентные металлические сплавы в качестве материалов для деталей авиационной техники. Поверхностные слои металлических деталей летательных аппаратов обоснованно можно представить как часть твердого тела, включающего элементарные частицы – электроны, ионы, атомы, молекулы и т. д. Электроны в металлах можно представить как вырожденный идеальный газ с учетом статистики Ферми-Дирака. Такой идеальный газ находится в металле внутри потенциальной ямы и подвергается действию электрического поля, создаваемого положительными ионами. Ионы металлов и электроны взаимодействуют и образуют стабильную систему, а силы их взаимодействия подчиняются закону Кулона. Важнейшей характеристикой металлов как твердых тел является работа выхода электрона из их поверхности. Работу выхода из металла можно определить путем измерения контактной разности потенциалов (КРП) между металлом и эталонным металлом, для которого РВЭ известна.

Вышеупомянутые аспекты использования электронной теории металлов и твердых металлических материалов позволили разработать относящиеся к методу КРП специальные портативные установки для оперативного неразрушающего контроля металлических деталей самолетов.

Метод КРП является актуальным и перспективным методом неразрушающего контроля металлических деталей самолетов и может использоваться при производстве, эксплуатации и ремонте авиационного оборудования.

Исследования с использованием разработанного нами прибора показали, что метод КРП дает наилучшие результаты, когда используется для проверки поверхности авиационных деталей на степень очистки, покрытия и при триботехнических испытаниях металлических агрегатов и деталей самолета и двигателей [1–3].

Дальнейшее развитие метода КРП идет по пути миниатюризации, позволяющее измерять КРП и определять РВЭ из поверхности образцов на микроуровне.

Литература:

1. Гончаренко В.И., Олешко В.С. Контактный метод разности потенциалов для оценки энергетического состояния поверхностей металлических деталей авиационной техники: монография; Издательство МАИ: Москва, Россия, 2019. 160 с. [https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41468420].

2. Патент РФ на изобретение 2717747. Олешко В.С., Ткаченко Д.П., Федоров А.В. Устройство для измерения контактной разности потенциалов металлических деталей авиационной техники. Опубликовано 25.03.2020. Бюллетень 9.

3. Патент РФ на изобретение 2758272. Олешко В.С. Способ поверки устройства измерения контактной разности потенциалов металлических деталей авиационной техники. Опубликовано 27.10.2021. Бюллетень 30.

Method of contact potential difference in non-destructive testing of aircraft parts

Oleshko V.S., Goncharenko V.I.
MAI, Moscow, Russia

At present, multicomponent metal alloys are widely used in the aircraft industry as materials for aircraft parts. The surface layers of metal parts of aircraft can reasonably be represented as a part of a solid body, including elementary particles – electrons, ions, atoms, molecules, etc. Electrons in metals can be represented as a degenerate ideal gas, taking into account the Fermi-Dirac statistics. Such an ideal gas is located in a metal inside a potential well and is subjected to an electric field created by positive ions. Metal ions and electrons interact and form a stable system, and the forces of their interaction obey the Coulomb law. The most important characteristic of metals as solids is the electron work function from their surface. The work function of a metal can be determined by

measuring the contact potential difference (CPD) between the metal and a reference metal for which the electron work function is known.

The above aspects of the use of the electronic theory of metals and solid metallic materials have made it possible to develop special portable installations related to the CPD method for the operational non-destructive testing of aircraft metal parts.

The CPD method is a relevant and promising method for non-destructive testing of aircraft metal parts and can be used in the manufacture, operation and repair of aircraft.

Studies using the device developed by us have shown that the CPD method gives the best results when used to check the surface of aircraft parts for the degree of cleaning, coating, and in tribotechnical tests of metal assemblies and parts of aircraft and engines [1–3].

Further development of the CPD method follows the path of miniaturization, which makes it possible to measure the CPD and determine the electron work function from the sample surface at the microlevel.

References:

1. Goncharenko V.I., Oleshko V.S. Contact method of potential difference for assessing the energy state of the surfaces of metal parts of aviation equipment: monograph; MAI Publishing House: Moscow, Russia, 2019. 160 p.

2. RF patent for the invention 2717747. Oleshko V.S., Tkachenko D.P., Fedorov A.V. Device for measuring contact potential difference of metal parts of aviation equipment. Published on 03/25/2020. Bulletin 9.

3. RF patent for the invention 2758272. Oleshko V.S. Method for verification of device for measuring contact potential difference of metal parts of aviation equipment. Published on 10/27/2021. Bulletin 30.

Расчет толщины слоев в многослойных материалах и возможности их упрочнения при циклической прокатке

Палтиевич А.Р., Галкин В.И.
МАИ, г. Москва, Россия

Перспективный подход изготовления конструкционных листовых материалов – горячая циклическая прокатка. В результате формируются листы из сотен и тысяч. Готовое изделие – композит, в котором материал основы упрочнен слоями другого материала. Реальные процессы многоцикловой прокатки сталкиваются принципиальными проблемами – существует такая критическая толщина слоя, при которой ограничивается дальнейшая возможность диффузионной растворимости компонентов друг в друге. Задача исследований – определение условий начинала разрушение одного из компонентов и определение толщины слоя с максимально возможным легированием компонентов за счет их взаимного растворения в процессе диффузии.

Исследования на слоистой композиции алюминий (основа)-медь (упрочнитель).

Материалы системы Al-Cu соответствуют диапазону концентраций наибольшей твердофазной растворимости меди в алюминии до 5,7%. При взаимодействии алюминия с медью образуется твердая и хрупкая фаза (CuAl2), которая имеет тетрагональную решетку (основа упрочнения).

Эффективный способ решения задач диффузии – метод конечных разностей. Сборные заготовки нагревали до температуры 450˚С, на прокатном стане поочередно деформировали за 6 циклов прокатки.

По результатам первых 3-х циклов прокатки установлено, что первоначальная слоистая структура композиции не нарушилась, однако толщина медной прослойки уменьшалась.

После 4-го цикла прокатки (расчетная толщина слоя 0,0019 мм), в структуре композиции появляются множественные разрывы медных слоев – процесс перехода слоистой структуры в структуру материала, армированного частицами.

6-й цикл прокатки (расчетная толщина слоя 0,00012 мм), приводит к образованию в материале матричной структуры с равномерным распределением армирующих частиц Cu, со средней площадью 714 кв. мкм.

Глубина и скорость распространения диффузии зависит от толщины получаемых слоев. На 2-м цикле прокатки толщина слоя составляет 0,06 мм и максимальная концентрация в краевых точках (к.т.), на глубине 0,0086 мм, достигает 2,87% Cu за 10 часов выдержки, а концентрации в последующих точках мало отлична от нуля. На 3-м цикле прокатки толщина слоя составляет 0,0076 мм и концентрация 5,6 % Cu в к.т. 0,001 мм, достигается через 0,33 часа. Учитывая, что 5,7 % предельно возможная твердотельная концентрация Cu в алюминии, она устанавливается как константа для значений концентраций в к.т., начиная со времени 0,5 часа. При этом максимальная концентрация Cu в ближайшей к к.т. (0,0043мм) составляет к концу 10 часов выдержки 3,47 %, а в центре слоев достигает значения 1,4 %.

Следующие циклы прокатки приводят к концентрации меди 5,7 % в к.т. на самой начальной стадии выдержки и росту скорости концентрации Cu по толщине слоя.

Влияние диффузионных процессов резко возрастает с уменьшением толщины слоев, поэтому прокатка до 3-го цикла включительно, обеспечивает неразрывную слоистую структуру в композиции, а диффузионные процессы после 10 часов выдержки обеспечивают преобразование части медного слоя в термоупрочняющую фазу. Центр медного слоя остается малоупрочненным и обеспечивает пластичность заготовки. Дальнейшие циклы прокатки приводят к разрушению слоев меди.

Calculation of the thickness of layers in multilayer materials and the possibility of their hardening during cyclic rolling

Paltievich A.R., Galkin V.I.
MAI, Moscow, Russia

A promising approach to the manufacture of structural sheet materials is hot cyclic rolling. As a result, sheets of hundreds and thousands are formed. The finished product is a composite in which the base material is reinforced with layers of another material. Real multi-cycle rolling processes face fundamental problems – there is such a critical layer thickness at which the further possibility of diffusion solubility of the components in each other is limited. The task of research is to determine the conditions for the destruction of one of the components and the determination of the layer thickness with the maximum possible alloying of the components due to their mutual dissolution in the diffusion process.

Research on a layered composition of aluminum (base)-copper (hardener).

Materials of the Al-Cu system correspond to the concentration range of the highest solid-phase solubility of copper in aluminum up to 5.7%. When aluminum interacts with copper, a hard and brittle phase (CuAl2) is formed, which has a tetragonal lattice (the basis of hardening).

An effective way to solve diffusion problems is the finite difference method. Prefabricated blanks were heated to a temperature of 450°C, and deformed in turn in a rolling mill for 6 cycles.

Based on the results of the first 3 rolling cycles, it was found that the original layered structure of the composition was not disturbed, however, the thickness of the copper layer decreased.

After the 4th rolling cycle (calculated layer thickness 0.0019 mm), multiple breaks in the copper layers appear in the structure of the composition – the process of transition of the layered structure into the structure of the material reinforced with particles.

The 6th rolling cycle (calculated layer thickness 0.00012 mm) leads to the formation of a matrix structure in the material with a uniform distribution of reinforcing Cu particles, with an average area of 714 sq. μm.

The depth and speed of diffusion propagation depends on the thickness of the resulting layers. On the 2nd rolling cycle, the layer thickness is 0.06 mm and the maximum concentration at the edge points (k.t.), at a depth of 0.0086 mm, reaches 2.87% Cu for 10 hours of exposure, and the concentration at subsequent points is low different from zero. On the 3rd rolling cycle, the layer thickness is 0.0076 mm and the concentration is 5.6% Cu in rt. 0.001 mm, reached after 0.33 hours. Considering that 5.7% is the maximum possible solid state concentration of Cu in aluminum, it is set as a constant for the values of concentrations in rt, starting from the time of 0.5 hours. In this case, the maximum concentration of Cu in the closest to the rt. (0.0043 mm) is 3.5% by the end of 10 hours of exposure, and in the center of the layers it reaches 1.4%.

Subsequent rolling cycles result in a copper concentration of 5.7% b.p. at the very initial stage of exposure and an increase in the Cu concentration rate over the layer thickness.

The influence of diffusion processes sharply increases with a decrease in the thickness of the layers; therefore, rolling up to the 3rd cycle inclusive provides an inseparable layered structure in the composition, and diffusion processes after 10 hours of exposure ensure the transformation of a part of the copper layer into a heat-strengthening phase. The center of the copper layer remains weakly strengthened and ensures the ductility of the workpiece. Further rolling cycles lead to the destruction of the copper layers.

Влияние различных модификаторов на процесс кристаллизации заэвтектического силумина

[1]Петров И.А., [1]Майоров Д.И., [2]Федорцов Р.С.
[1]МАИ, [2]ИМЕТ РАН, г. Москва, Россия

Заэвтектические силумины широко используются в различных областях промышленности. Они обладают отличными свойствами, такими как низкий коэффициент линейного расширения, повышенные жаропрочность и твердость, высокая износостойкость и коррозионная стойкость. Важную роль для повышения эксплуатационных свойств заэвтектических силуминов играет измельчение структуры. В первую очередь первичных кристаллов Si. Для сплавов, имеющих сложный фазовый состав, необходимый результат достигается, микролегирование, модифицирование или комплексным модифицированием, при котором разные элементы воздействуют на разные структурные составляющие сплава [1].

При кристаллизации сплава происходит формирование его внутренней структуры, которая является одним из определяющих факторов эксплуатационных свойств. От особенностей процесса кристаллизации в большой степени зависит уровень основных технологических свойств сплава (жидкотекучесть, склонность к образованию горячих трещин). Процесс кристаллизации представляет собой сложный физико-химический процесс, он может протекать с разной скоростью и под влиянием различных внешних факторов. На протекание процесса кристаллизации влияют физические характеристики сплава, условия охлаждения отливки. Весьма существенно на процесс кристаллизации влияют различные технологические факторы, к котором относятся температура заливки сплава и различные виды обработки расплава, например, модифицирование [2].

В настоящей работе исследовали процесс кристаллизации силумина заэвтектического типа, модифицированного следующими элементами: Y,Yb,Ce,Nd,Er,Sm и P. Получены значения температур фазовых превращений и параметры, учитывающие выделения твердой фазы в интервале кристаллизации.

В ходе исследований было установлено, что модифицирование P оказывает влияние на параметры кристаллизации сплава Al-17%Si. Температура liq значительно повышается, а температура sol остается на уровне исходного сплава. В следствие интервал кристаллизации исследуемого сплава с P расширяется. В тоже время было установлено, что модифицирование РЗЭ (Y,Yb,Ce,Nd,Er,Sm) оказывает различное влияние на параметры кристаллизации сплава Al-17%Si. Наиболее значительно понизили температура liq следующие модифицирующие элементы Yb, Sm и Nd. При модифицирование сплава Al-17%Si Ce, Y, Er происходит заметное снижение температура liq. Так же Yb, Y и Nd способствует понижению температуры начала кристаллизации эвтектики (α+Si). Температура sol при модифицирование РЗЭ незначительно меняется относительно исходного сплава. Следовательно интервал кристаллизации исследуемого сплава с РЗЭ сужается.

Анализ полученных данных показал, что характер выделения твердой фазы в интервале кристаллизации различен. Как видно модифицирование P на этапе зарождения и роста кристаллов первичного Si значительно смещает процесс выделения твердой фазы в область более высоких температур относительно исходного сплава. В исследуемых сплавах модифицированных РЗЭ доля твердой фазы, образующейся на этапе зарождения и роста кристаллов первичного Si смещается в область более низких температур относительно исходного сплава.

Литература:
1. Shlyaptseva, A.D.; Petrov, I.A.; Ryakhovsky, A.P.; Medvedeva, E.V.; Tcherdyntsev, V.V. Complex Structure Modification and Improvement of Properties of Aluminium Casting Alloys with Various Silicon Content. Metals 2021, 11, 1946.
2. Петров, И. А., Шляпцева А. Д. Влияние РЗЭ на процесс кристаллизации силумина эвтектического типа // Металлы. – 2022. – № 2. – С. 19-27.

Influence of various modifiers on the process of crystallization of hypereutectic silumin

[1]Petrov I.A., [1]Mayorov D.I., [2]Fedortsov R.S.
[1]MAI, [2]Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science RAS, Moscow, Russia

Hypereutectic silumins are widely used in various industries. They have excellent properties such as low coefficient of linear expansion, high heat resistance, high wear resistance. Structure refinement plays an important role in improving the performance properties of hypereutectic silumins. Primarily primary Si crystals. For alloys with a complex phase composition, the desired result is achieved by microalloying, modification or complex modification, in which different elements act on different structural components of the alloy [1]. During the crystallization of the alloy, its internal structure is formed, which is one of the determining factors of operational properties. The level of basic technological properties of the alloy depends to a large extent on the features of the crystallization process. The crystallization process is a complex physical and chemical process; it can proceed at different rates and under the influence of various external factors. The course of the crystallization process is influenced by the physical characteristics of the alloy, the cooling conditions of the casting. The crystallization process is significantly affected by various technological factors, which include the pouring temperature of the alloy and various types of melt treatment, for example, modification [2].

In this work, we studied the crystallization process of hypereutectic silumin modified with the following elements: Y,Yb,Ce,Nd,Er,Sm and P. The values of phase transformation temperatures and parameters that take into account solid phase precipitation in the crystallization interval are obtained.

In the course of research, it was found that the modification of P affects the crystallization parameters of the Al-17%Si alloy. The temperature liq increases significantly, while the temperature sol remains at the level of the original alloy. As a result, the crystallization interval of the investigated alloy with P expands. At the same time, it was found that the modification of REE has a different effect on the crystallization parameters of the Al-17%Si alloy. The following modifying elements Yb, Sm, Nd lowered the temperature liq most significantly. When modifying the Al-17%Si Ce, Y, Er alloy, a noticeable decrease in temperature liq occurs. Also, Yb, Y, Nd contribute to lowering the temperature of the onset of crystallization of the eutectic (α+Si). The temperature sol during the modification of REE slightly changes relative to the original alloy. Consequently, the crystallization interval of the studied alloy with REE narrows.

An analysis of the obtained data showed that the nature of the precipitation of the solid phase in the crystallization interval is different. As can be seen, the modification of P at the stage of nucleation and growth of primary Si crystals significantly shifts the process of precipitation of the solid phase to the region of higher temperatures relative to the initial alloy. In the investigated REE-modified alloys, the proportion of the solid phase formed at the stage of nucleation and growth of primary Si crystals shifts to lower temperatures relative to the initial alloy.

References:
1. Shlyaptseva A.D., Petrov I.A., Ryakhovsky A.P., Medvedeva E.V., Tcherdyntsev V.V. Complex Structure Modification and Improvement of Properties of Aluminum Casting Alloys with Various Silicon Content. Metals 2021,11,1946.
2. Petrov I.A., Shlyaptseva A.D. Effect of REE on the Solidification of Eutectic Silumin. Russ.Metall. 2022, 204–210.

Применение бескремнезёмных связующих материлов в прецизионном литье для изотовление деталей в авиации

Пилипенко А.А., Алексеев И.Е.
МАИ, г. Москва, Россия

Метод литья по выплавляемым моделям (ЛВМ) позволяет изготавливать отливки практически из любых сплавов, можно изготавливать различные сложные конструкции, тонкостенные детали, а также различные отливки как с небольшой массой, так и весьма габаритные что дает ему преимущество для применения его в авиационной технике.

При литье сплавов данным методом особое значение отдают изготовлению форм. Весомый вклад в изготовление формы вносят связующие материалы.

Бескремнеземные связующие представляют собой соли алюминия, хрома, кальция, а также могут быть в роли металлоорганических соединений.

Для получения высокоогнеупорных и химически стойких форм, огнеупорные материалы и связующие не должны образовывать между собой легкоплавких эвтектик.

Важно, чтобы раствор связующего и огнеупорный материал имели одинаковую основность. Наилучшим является вариант, когда связующий оксид и огнеупорная основа формы имеют одинаковый химический состав или близкие параметры кристаллической решётки.

АЛЮМОКС, а в качестве огнеупора используется электрокорунд. АЛЮМОКС и электрокорунд имеют одну основу, и согласно таблице 1 имеют оптимальное сочетание.

Связующее АЛЮМОКС выпускается в Москве на предприятии АО ГНИИХТЭОС.

АЛЮМОКС представляет собой готовое спиртовое связующее, не содержащее в составе диоксида кремния. Данное связующее используется для изготовления литейных форм, которые не будут взаимодействовать с металлом при температурах до 1900°С.

Широкое применение связующее получило при изготовлении керамических оболочковых форм для высокоточного сложнопрофильного литья по выплавляемым моделям изделий ответственного назначения из высоколегированных сталей, титана, жаропрочных сплавов и тугоплавких металлов (лопатки газотурбинных двигателей с направленной и монокристаллической структурой). Обладает хорошей смачиваемостью, не вступает в химическое взаимодействие с различными огнеупорными наполнителями.

Применение связующего Алюмокс не требует существенных изменений традиционной технологии изготовления форм ЛВМ с использованием в качестве связующих гидролизованных растворов этилсиликатов.

Все образцы изготавливались классическим методом послойного нанесения суспензии и огнеупора. Далее все образцы прокаливали в электрической печи при различных температурах и испытывались на испытательной машине.

Результаты испытания показали, что самая оптимальная температура прокалки для образцов на основе оксида алюминия является 1500С

Прочность прокаленной керамики составляет 2,25 МПа. Данной прочности недостаточно для заливки химически активных сплавов. Для повышения прочности керамики с такой основой предлагается использование спекающей добавки АСД-4.

При добавлении 10% от массы суспензии АСД-4 можно увеличить предел прочности до 4,84 МПа, что более чем в 2 раза больше прочности без добавок.

В настоящее время продолжаются работы по поиску лучшего состава в керамику на основе бескремнеземных материалов.

Литература:

1. Варфоломеев М.С. Специальная технология литья в авиационной промышленности. Учебное пособие. М.: МАИ, 2020, 90 с.

2. Компания ГНИИХТЭОС: официальный сайт — Москва [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://www.eos.su/ru (дата обращения 01.03.2021).

The use of silica-free binders in precision casting for the manufacture of parts in aviation

Pilipenko A.A., Alekseev I.E.
MAI, Moscow, Russia

Lost wax casting (LVM) allows castings to be produced from almost any alloy, it is possible to produce various complex structures, thin-walled parts, as well as various castings, both with a small mass and very dimensional, which gives it an advantage for its use in aviation technology.

When casting alloys by this method, special attention is paid to the manufacture of molds. Binding materials make a significant contribution to the manufacture of the mold.

Silica-free binders are salts of aluminum, chromium, calcium, and can also be in the role of organometallic compounds.

To obtain highly refractory and chemically resistant forms, refractory materials and binders should not form fusible eutectics between themselves.

It is important that the binder solution and the refractory material have the same basicity. The best option is when the binder oxide and the refractory base of the mold have the same chemical composition or similar crystal lattice parameters.

ALUMOKS, and electrocorundum is used as a refractory. ALUMOKS and electrocorundum have one basis, and according to table 1 they have an optimal combination.

The binder ALUMOKS is produced in Moscow at the AO GNIIKhTEOS enterprise.

ALUMOKS is a ready-made alcohol binder that does not contain silicon dioxide. This binder is used to make molds that will not interact with metal at temperatures up to 1900°C.

The binder has been widely used in the manufacture of ceramic shell molds for high-precision complex-profile investment casting of critical products from high-alloy steels, titanium, heat-resistant alloys and refractory metals (blades of gas turbine engines with a directional and single-crystal structure). It has good wettability, does not enter into chemical interaction with various refractory fillers.

The use of the Alumox binder does not require significant changes in the traditional technology for the manufacture of LCM molds using hydrolyzed solutions of ethyl silicates as binders.

All samples were made by the classical method of layer-by-layer application of suspension and refractory. Further, all samples were calcined in an electric furnace at various temperatures and tested on a testing machine.

The test results showed that the most optimal calcination temperature for samples based on aluminum oxide is 1500C.

The strength of the calcined ceramics is 2.25 MPa. This strength is not enough for pouring reactive alloys. To increase the strength of ceramics with such a base, it is proposed to use the ASD-4 sintering additive.

With the addition of 10% by weight of the ASD-4 suspension, the ultimate strength can be increased to 4.84 MPa, which is more than 2 times greater than the strength without additives.

Currently, work is underway to find the best composition for ceramics based on silica-free materials.

References:

1. Varfolomeev M.S. Special casting technology in the aviation industry. Tutorial. M.: MAI, 2020, 90 p.

2. GNIIKhTEOS company: official website - Moscow [Electronic resource]: Access mode: https://www.eos.su/ru (accessed 01.03.2021).

Многомасштабное моделирование растяжения образца композиционного материала со встроенным представительным объемом

Прилипко Е.А., Илларионов К.Д., Синицын А.А., Волков Е.И.
МАИ, г. Москва, Россия

Применение конструкций из полимерных композиционных материалов – одно из динамично развивающихся направлений аэрокосмической техники. В этой области для проектных исследований широко используют численные методы [1]. Тем не менее потребность в разработке эффективных методов проектного анализа сложных композитных

конструкций по-прежнему остается актуальной задачей [2]. Отсутствие таких методов может повлечь существенные финансовые затраты на испытания модельных и натурных конструкций, а, следовательно, негативно отразиться на сроках создания новой техники. В данной работе проведено многомасштабное моделирование механизмов разрушения полимерных композиционных материалов при продольном растяжении элементарного образца.

Представлен прямой подход к микромеханическому моделированию композиционного материала. Концепция прямого подхода заключается в использовании микромеханической детализации определенных областей, представляющих интерес, в рамках FEM, в то время как большая часть модели представлена гомогенизированной структурой. Построена модель репрезентативного элементарного объема (RVE) с учетом случайного пространственного распределения волокон [3, 4]. Результаты расчетов показывают, что благодаря такому вычислительному подходу можно получить более подробный механизм деформации.

В результате расчета прочность на растяжение полимерных композиционных материалов определяется разрушением матрицы, что приводит к образованию трещины, перпендикулярной оси растяжения; преобладает образование полосы сдвига локализованной пластической деформации в матрице.

Многомасштабный вычислительный анализ предлагает новый подход к определению механизмов разрушения полимерных композиционных материалов [5, 6].

Multiscale modelling of composite material sample containing representative volume element under tensile load

Prilipko E.A., Illarionov K.D., Sinitsyn A.A., Volkov E.I.
MAI, Moscow, Russia

The use of structures made of polymer composite materials is one of the dynamically developing areas of aerospace engineering. Numerical methods are widely used in this field for design research [1]. Nevertheless, the need to develop effective methods of design analysis of complex composite structures remains an urgent task [2]. The absence of such methods may entail significant financial costs for testing model and full-scale structures, and therefore negatively affect the timing of new machinery creation. In this paper, a multiscale simulation of polymer composite materials failure mechanisms during elementary sample longitudinal tension is carried out.

This paper presents a direct approach to micromechanical modeling of composite material. The concept of the direct approach is to use micromechanical scale refining of certain areas of interest within FEM, while most of the model is represented by a homogenized structure. A model of representative volume element (RVE) is made taking into account the random spatial distribution of fibers [3, 4]. The results of calculations show that by the aid of this computational approach it is possible to obtain a more detailed deformation mechanism.

As a result of the calculation, the tensile strength of polymer composite materials is determined by matrix, failure which leads to the formation of a crack perpendicular to the axis of tension; the formation of a shear band of localized plastic deformation in the matrix prevails.

Multiscale computational analysis offers a new approach to determining the mechanisms of polymer composite materials failure [5, 6].

Углерод-углеродный материал для пресс-форм горячего прессования керамики с повышенными эксплуатационными характеристиками

Райцис И.Д., Богачев Е.А., Елаков А.Б.
АО «Композит», г. Королев, Россия

Горячее прессование (ГП) является известным способом получения изделий из высокотемпературной керамики, все более востребованных в высокотемпературных узлах авиакосмической техники. Искусственный графит традиционно считается незаменимым материалом для конструирования пресс-форм ГП, поскольку он термостабилен при уровне температур 2000-2400 °С, имеет мелкозернистую структуру.

Проблемным элементом пресс-форм для ГП является наружная силовая обечайка. Из-за невысокой прочности графита на растяжение ввиду отсутствия армирующей системы срок службы графитовых обечаек ограничен как по количеству прессований до разрушения, так и по усилию прессования, которое обычно ведут при 30-35 МПа, максимально при 50 МПа [1-3].

Углерод-углеродные композиты (УУКМ) в качестве альтернативы графиту для изготовления обечаек пресс-форм ГП применяются редко. УУКМ, обладая подходящим комплексом свойств для замены графита в данном применении, имеют более высокую стоимость. На ряде пресс-форм фирма SGL Carbon (Германия) использует УУКМ марки SIGRABOND® Premium [4], однако его высокая прочность при растяжении (400 МПа) достигается не в радиальном направлении, как это необходимо для материала обечайки пресс-формы. Кроме того, микроструктура традиционного УУКМ не позволяет достигать высокой чистоты поверхности пресс-формы.

В АО «Композит» разработана технология производства УУКМ на основе армирующего углеродного каркаса марки Ипресскон® [5], имеющего однородную измельченную структуру (диаметр пор - от 10 мкм до 30 мкм) и высокую плотность, что позволяет существенно снизить шероховатость поверхностей в случае применения этого материала для изготовления обечаек пресс-форм ГП [6]. Высокие механические свойства материала, особенно в радиальном направлении (прочность при растяжении 150 МПа) позволяют значительно увеличить ресурс работоспособности обечаек (свыше 30 циклов ГП).

1. Randall M. German. Sintering from Empirical Observations to Scientific Principles. Elsevier Inc. 2014: 338-339.

2. Evans, A.G. Perspective on the Development of High-Toughness Ceramics. J. Am. Ceram. Soc. 1990, 73: 187–206.

3. Sonber J.K., Subramanian C., Murthy T.S.R. Ch., Hubli R.C., Suri A.K. Processing Methods for Ultra-High Temperature Ceramics. Low I.M., Sakka Y., and Hu C.F., editors. MAX phases and ultra-high temperature ceramics for extreme environments. Hershey PA: Engineering Science Reference (an imprint of IGI Global); 2013; Chapter 6: 180-202.

4. SGL Carbon SIGRABOND® Premium [datasheet from homepage on the internet]. c2018 [cited 2021 Mar 11] Available from: https://www.sglcarbon.com/en/markets-solutions/material/sigrabond-carbon-fiber-reinforced-carbon/.

5. Богачев Е.А., Елаков А.Б., Белоглазов А.П. и др. Способ изготовления пористого каркаса-основы композиционного материала / Патент. Российская Федерация. −

Рег. № 2620810 от 29.05.2017 г.

6. E.Bogachev, A.Elakov. Organomorphic carbon-carbon composite for hot pressing molds. // Int. J. Applied Ceramic Technology (Special Issue Article), 2022: vol.19, p.p.101-107. https://doi.org/10.1111/ijac.13813.

Carbon-carbon material for high-performance ceramic hot pressing molds

Raytsis I.D., Bogachev E.A., Elakov A.B.

JSC "Kompozit", Korolev, Russia

Hot pressing (HP) is a well-known method of making high-temperature ceramic articles increasingly in demand for high-temperature components in aerospace engineering. Traditionally, artificial graphite is considered an indispensable material for HP molds, given its thermal stability at temperatures of 2000-2400°C and its fine-grained structure.

The HP mold component of concern is the outer power die. The poor tensile strength of graphite due to the absence of any reinforcing system imposes limits on the service life of a graphite die both by the number of pressing cycles to failure and by the press force, with the pressing being usually performed at 30-35 MPa, 50 MPa at the most [1-3].

Carbon-carbon composites (CCMs) are rarely used as an alternative to graphite for HP dies. While showing a set of high properties allowing graphite to be replaced for this application, CCMs are more expensive. For a number of molds, SGL Carbon (Germany) uses SIGRABOND® Premium CCM [4]; however, its high tensile strength (400 MPa) is not achieved in the radial direction, as is necessary

for the mold die material. In addition, the microstructure of the conventional CCM does not allow the required high purity of the mold surface to be achieved.

In Kompozit JSC, a process for producing CCMs reinforced by the Ipresskon® carbon frame [5] characterized by a homogeneous fine structure (with the pore diameter of 10 □m to 30 □m) and a high density has been developed, thus allowing the surface roughness to be reduced dramatically when using this material for HP mold dies [6]. The high mechanical properties of the material, especially in the radial direction (tensile strength of 150 MPa), can increase significantly the life of the dies (over 30 GP cycles).

1. Randall M. German. Sintering from Empirical Observations to Scientific Principles. Elsevier Inc. 2014: 338-339.

2. Evans, A.G. Perspective on the Development of High-Toughness Ceramics. J. Am. Ceram. Soc. 1990, 73: 187–206.

3. Sonber J.K., Subramanian C., Murthy T.S.R. Ch., Hubli R.C., Suri A.K. Processing Methods for Ultra-High Temperature Ceramics. Low I.M., Sakka Y., and Hu C.F., editors. MAX phases and ultra-high temperature ceramics for extreme environments. Hershey PA: Engineering Science Reference (an imprint of IGI Global); 2013; Chapter 6: 180-202.

4. SGL Carbon SIGRABOND® Premium [datasheet from homepage on the internet]. c2018 [cited 2021 Mar 11] Available from: https://www.sglcarbon.com/en/markets-solutions/material/sigrabond-carbon-fiber-reinforced-carbon/.

5. E.A. Bogachev, A.B. Elakov, A.P. Beloglazov et al. Method for fabricating a porous frame – the basis for a composite material / Patent. Russian Federation. −Ref. No. 2620810 of 29.05.2017.

6. E.Bogachev, A.Elakov. Organomorphic carbon-carbon composite for hot pressing molds. // Int. J. Applied Ceramic Technology (Special Issue Article), 2022: vol.19, p.p.101-107. https://doi.org/10.1111/ijac.13813.

Особенности восстановления формы сплава на основе никелида титана, дополнительно легированного гафнием

Снегирёв А.О., Алсаева О.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Сплавы системы Ti-Ni обладают высоким комплексом свойств эффекта памяти формы (ЭПФ) и широко применяются в конструкциях муфт для сборки трубопроводов, в качестве элементов термодатчиков, активаторов и медицинских изделий. Однако эти сплавы имеют ограничения по температурам восстановления формы (ВФ). В зависимости от химического состава они восстанавливают форму в диапазоне от -30 до 110 ºС . Для снижения температур мартенситного превращения (МП) используют дополнительное легирование Fe, для повышения – Pt, Au, Hf. В частности, введение Hf до 20 ат. % позволяет получить температуры конца восстановления формы до 250 ºС. Представляет интерес изменять эту температуру в диапазоне 100–250 ºС путем варьирования содержания гафния.

Исследовали отожжённые в вакууме при 700 ºС в течение 1 часа образцы из сплавов системы Ti-Ni-Hf с содержанием гафния 2,5 и 5 ат.%. Образцы были представлены в виде прокатанных карточек толщиной 2 мм, которые использовались для проведения металлографического и рентгеноструктурного анализов. Также были вырезаны полосы шириной 2 мм для определения характеристик ВФ методом свободного восстановления формы после деформации изгибом. Для этого образцы подвергали обкатке вокруг цилиндров различного диаметра на 2,3,4 % наведенной деформации с последующим нагревом до 100 ºС в жидкостном термостате, а для более высоких температур – в лабораторном сушильном шкафу. Расчет восстановленной и невосстановленной деформации проводили путем измерения радиуса кривизны с помощью шаблонов.

Металлографический и рентгеноструктурный анализы показали, что структура образцов после вакуумного отжига представлена зернами B2-фазы и включениями интерметаллида Ti_4Ni_2O.

Восстановление формы протекало в несколько этапов. На первом, низкотемпературном, преимущественно от 40 ºС до 80 ºС происходило возвращение деформации порядка 0,5% в

обоих сплавах. На втором, высокотемпературном, от 120 ºС до 220 ºС возвращалось 0,5 ÷ 1,25 % деформации в зависимости от степени наведенной деформации. В сплаве, содержащем 2,5 ат. % Hf, восстановление формы прошло полностью при нагреве до 220 ºС. В образце с 5 ат. % Hf наблюдалась невосстановленная деформация, которая составляла порядка 0,2 % выше 220 ºС при 3% наведенной деформации, также отмечалось наличие 0,3 % невосстановленной при 4% наведенной.

Такие особенности ВФ позволяют предположить, что они обусловлены следующими причинами. Нарушение степени упорядоченности B2-фазы за счет легирования Hf и неравномерность распределения Hf в твердом растворе. Эти причины приводят к развитию МП в отдельных микрообъемах при разных температурах. Неравномерность развития МП и неупорядоченность твердого раствора облегчают процесс образования и движения дислокаций, что приводит к развитию пластической деформации уже на ранних стадиях формоизменения и образованию невосстановленной деформации.

1. Функциональные материалы с эффектом памяти формы: учеб. пособие / М.Ю. Коллеров, Д.Е. Гусев, Г.В. Гуртовая [и др.]. -М.: ИНФРА-М, 2019. -140 с.

2. Кристаллогеометрические и кристаллохимические закономерности образования бинарных и тройных соединений на основе титана и никеля / [А. А. Клопотов, А. И. Потекаев, Э. В. Козлов и др.]; под общ. ред. А. И. Потекаева; Том. политехнический ун-т [и др.]. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. -312 с.

Features of restoring the shape of an alloy based on TiNi additionally alloyed with Hf

Snegirev A.O., Alsaeva O.S.

MAI, Moscow, Russia

Alloys of the Ti-Ni system have a high complex of properties of the shape memory effect (SME) and are widely used in the design of couplings for pipelines, as elements of temperature sensors, activators and processed products. However, these alloys have restrictions on the shape recovery temperature (SR). Depending on the chemical composition, they restore their shape in the range from -30 to 110 ºC. The auxiliary designation Fe is used to formalize the temperature martansite transformation (MT), and Pt, Au, and Hf are used for discussion. In particular, the introduction of Hf up to 20 at. % allows you to get the temperature of the end of the restoration of the form up to 250 ºC. It is of interest to change the temperature in the range of 100–250 ºC by limiting the content of hafnium.

We studied decay annealed in vacuum at 700 ºC for 1 hour from alloys of the Ti-Ni-Hf system with the presence of hafnium 2.5 and 5 at.%. The samples were presented in the form of rolled cards 2 mm thick, which were obtained for metallographic and X-ray diffraction analysis. 2 mm bands were also cut out to define a standard method for reshaping after bending. For this position, a diameter of 2,3,4% is observed around the cylinders when deformation is detected, followed by heating to 100 ºC in a liquid thermostat, and for a higher temperature, in a laboratory oven. Calculation of the restored and non-restored deformation, made by measuring the radius of curvature using templates.

Metallographic and X-ray diffraction analyzes show that the structure of the samples after vacuum annealing requires the inclusion of the B2 phase and inclusions of the Ti_4Ni_2O intermetallic compound.

The restoration of the form proceeded in several countries. At the first, low-temperature, predominance from 40 ºC to 80 ºC, the usual formation return is 0.5% in alloys. At the second, high-temperature one, from 120°C to 220°C, 0.5÷1.25% of the deformation returned, depending on the degree of induced deformation. In an alloy containing 2.5 at. % Hf, the restoration of the shape completely passed when heated to 220 ºC. In a sample with 5 at. % Hf, unrecovered deformation was observed, which is about 0,2% above 220 ºC at 3% induced deformation, and there is also 0,3% unrecovered at 4% induced.

Such features of the SR can cause that they cause associations. Violation of the degree of ordering of the B2 phase due to doping with Hf and uneven distribution of Hf in the solid solution. These reasons lead to the development of MT in rare microvolumes at different temperatures. The uneven development of the MT and the disorder of the solid solution facilitate the formation and movement

of dislocations, which leads to the development of plastic deformation already at the stage of the disease of shape change and the restoration of unrecovered deformation.

Изучение технологических особенностей использования сварки трением с перемешиванием для изготовления изделий авиационной и космической техники

Степанов В.В., Шумаев Е.В., Чернов Д.В., Кобзарь А.Д.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время для изготовления изделий авиационной и космической техники стараются применять современные конструкционные алюминиевые сплавы повышенной прочности. Однако, основное ограничение применения данных сплавов заключается в сложности получения качественных неразъёмных соединений методом сварки, вследствие их высокой зависимости от термического цикла сварки. В связи с этим, в настоящее время изучаются различные методы получения неразъёмных соединений в твёрдой фазе, что обеспечивает незначительное термическое воздействие и возможность получения сварных соединений из материалов, которые не свариваются классическими методами сварки плавлением. Одним из таких способов сварки является сварка трением с перемешиванием (СТП).

В работе рассматривалось влияние термического цикла сварки на микроструктуру сварного шва. Определено, что на материалах типа авиалей (включая легированных редкоземельными металлами) можно подобрать режимы сварки, которые обеспечивают получение мелкозернистой структуры и высокими механическими свойствами.

С технологической точки зрения рассмотрена возможность применения различных типов инструментов для сварки, включая инструмент, не требующий применения дорогостоящих массивных оснований. Определено, что для получения качественных соединений достаточно протяжённых стыковых швов (соединения баков летательных аппаратов) необходимо применение достаточно жёсткой оснастки. Для реализации процесса сварки наиболее эффективно использовать стандартный инструмент с выдвигающимся шпинделем. Применение инструмента типа Bobbin tool (не требующего жёсткого основания) менее технологично, поскольку требует заварки кратера после демонтажа инструмента, что может негативно сказаться на свойствах сварного соединения.

Study of the technological aspects using Friction Stir Welding (FSW) for aerospace application

Stepanov V.V., Shumaev E.V., Chernov D.V., Kobzar A.D.
MAI, Moscow, Russia

Currently, they are trying to use modern constructional high-strength aluminum alloys of increased strength for the manufacture of aviation and space technology products. However, the main limitation of the use of these alloys is the difficulty of obtaining high-quality permanent joints by welding, due to their high dependence on the thermal welding cycle. In this regard, currently various methods of obtaining permanent joints in the solid phase are being studied, which provides a slight thermal effect and the possibility of obtaining welded joints made of materials that are not welded by classical fusion welding methods. One of these welding methods is friction stir welding (FSW).

The influence of the thermal cycle of welding on the microstructure of the weld was studied. It is determined that it is possible to select welding modes on materials such as aircraft (including those alloyed with rare earth metals), which provide a fine-grained structure and high mechanical properties.

From a technological point of view, the possibility of using various types is considered welding tools, including tools that do not require the use of expensive massive bases. It is determined that in order to obtain high-quality connections of sufficiently extended butt joints (connections of tanks of aircraft), it is necessary to use sufficiently rigid equipment. To implement the welding process, it is most effective to use a standard tool with a retractable spindle. The use of a Bobbin tool type (which does not require a rigid base) is less technologically advanced, since it requires welding of the crater after dismantling of the tool, which may negatively affect the properties of the welded joint.

Метод определения упругих свойств покрытий на основе результатов наноиндентирования

Степанов Ф.И., Шкалей И.В.
ИПМех РАН, г. Москва, Россия

Механические характеристика материала такие как твердость и модуль упругости определяет его работоспособность в напряженном состоянии. В случае материалов, предназначенных для эксплуатации в условиях контакта важно иметь представление о свойствах его поверхности. Отличие свойств поверхностных слоев материала от объемных может быть обусловлено способом обработки, нанесением покрытий, а также воздействием окружающей среды. Таким образом, развитие методов определения механических свойств поверхностных слоев и покрытий является важной задачей. Для определения свойств поверхностных слоев используют различные методы: метод резонансной ультразвуковой спектроскопии [1, 2], метод динамического резонанса и изгиба [3], а также методы индентирования [3-7]. Ранее был разработан метод определения упругих свойств покрытий на основании результатов индентирования [7], для этого использовалось решение контактной задачи о нагружении жестким индентором двуслойного полупространства. Целью данной работы является развитие данного метода, позволяющее учитывать упругие свойства индентора, несовершенство его формы, а также особенности прибора на котором проводятся эксперименты. Верификация метода осуществлялась на приборе «Наноскан-4D» в сочетании с оптическим профилометром, позволяющим уточнить форму используемого индентора. В качестве инденторов использовались шарики различных диаметров в диапазонах нагрузок, исключающих пластические деформации. При обработке полученных данных определялась линейная податливость прибора [8], упругие характеристики подложки и покрытия образца. Для определения приведенного модуля упругости покрытия использовался метод последовательных приближений в сочетании с решением контактной задачи методом граничных элементов. Дана оценка пределов применимости использованной методики с учетом возможностей прибора.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-4458.2022.1.1

[1] A. Migliori, T.W. Darling, J.P. Baiardo, F. Freibert. Migliori, T.W. Darling, J.P. Baiardo, F. Freibert. Resonant ultrasound spectroscopy (RUS). Exp. Methods Phys. Sci. 2001. 39. p. 189–220.

[2] M. Ržek et al Determination of elastic properties of surface layers and coatings by resonant ultrasound spectroscopy. J. Phys.: Conf. Ser. 2011. 278 012004.

[3] Chin-ChenChiuEldon D.Case. Elastic modulus determination of coating layers as applied to layered ceramic composites. Mater. Sci. Eng. A.

[3] D. Chicot, I. Hage, P. Demarecaux, J. Lesage. Elastic properties determination from indentation tests. Surface and Coatings Technology, 1996, 81, p. 269-274.

[4] S. Bec, A. Tonck, J. L. Loubet. A simple guide to determine elastic properties of films on substrate from nanoindentation experiments. Philosophical Magazine, 2006, 86:33-35, p. 5347-5358.

[5] J. Chen, S. J. Bull. Modeling of indentation damage in single and multilayer coatings nanoindentation experiments, 2008, IUTAM Symposium on Modelling Nanomaterials and Nanosystems, 161-170.

[6] Ghailen Ben Ghorbal, Arnaud Tricoteaux, Anthony Thuault, H. Ageorges, F. Roudet, et al. Mechanical properties of thermally sprayed porous alumina coating by Vickers and Knoop indentation. Ceramics International, Elsevier, 2020, 46 (12), 19843-19851.

[7] И. Г. Горячева, Н. К. Мышкин, Е. В. Торская и др. Моделирование фрикционного взаимодействия композиционных покрытий триботехнического назначения. Трение и износ, 2012. 33(6), 557–565.

Method for determining the elastic properties of coatings based on nanoindentation tests

Stepanov F.I., Shkalei I.V.
IPMech RAS, Moscow, Russia

Mechanical properties of materials, such as hardness and elastic modulus, determine their performance under loading. For materials intended for use in contact, it is important to determine

properties the surface properties. Distinction of mechanical properties of surface layers can be caused by material processing, infliction of coatings and environmental impact. Thus, the development of methods for determining the mechanical properties of surface layers and coatings is an important task. To determine the properties of surface layers, various methods are used: the method of resonant ultrasonic spectroscopy [1, 2], the method of dynamic resonance and bending [3], as well as indentation methods [3–7]. Previously, a method was developed for determining the elastic properties of coatings based on the results of indentation [7], where the solution of the contact problem for a two-layer half-space and a rigid indenter was used. The goal of this study is the development of this method in order to take into account the elastic properties of the indenter, the imperfection of its shape, as well as the features of the device. Verification of the method was carried out on the device "Nanoscan-4D" in combination with an optical profilometer, which makes it possible to clarify the shape of the used indenter. Balls of different diameters were used as indenters in the load ranges, excluding plastic deformations. When processing the obtained data, the linear compliance of the device [8] and the elastic characteristics of the substrate and coating of the sample were determined. To determine the reduced modulus of elasticity of the coating, the method of successive approximations was used in combination with the solution of the contact problem by the method of boundary elements. An estimate of the applicability limits of the method used obtained, taking into account the capabilities of the device.

The research is supported by the RF Presidential grant MK- 4458.2022.1.1

[1] A. Migliori, T.W. Darling, J.P. Baiardo, F. Freibert. Migliori, T.W. Darling, J.P. Baiardo, F. Freibert. Resonant ultrasound spectroscopy (RUS). Exp. Methods Phys. Sci. 2001. 39. p. 189–220.

[2] M. Ržek et al Determination of elastic properties of surface layers and coatings by resonant ultrasound spectroscopy. J. Phys.: Conf. Ser. 2011. 278 012004.

[3] Chin-ChenChiuEldon D.Case. Elastic modulus determination of coating layers as applied to layered ceramic composites. Mater. Sci. Eng. A.

[3] D. Chicot, I. Hage, P. Demarecaux, J. Lesage. Elastic properties determination from indentation tests. Surface and Coatings Technology, 1996, 81, p. 269-274.

[4] S. Bec, A. Tonck, J. L. Loubet. A simple guide to determine elastic properties of films on substrate from nanoindentation experiments. Philosophical Magazine, 2006, 86:33-35, p. 5347-5358.

[5] J. Chen, S. J. Bull. Modeling of indentation damage in single and multilayer coatings nanoindentation experiments, 2008, IUTAM Symposium on Modelling Nanomaterials and Nanosystems, 161-170.

[6] Ghailen Ben Ghorbal, Arnaud Tricoteaux, Anthony Thuault, H. Ageorges, F. Roudet, et al. Mechanical properties of thermally sprayed porous alumina coating by Vickers and Knoop indentation. Ceramics International, Elsevier, 2020, 46 (12), 19843-19851.

[7] I. G. Goryacheva, N. K. Myshkin, E. V. Torskaya et.all. Simulation of frictional interaction of composite coatings for tribotechnical purposes. J. Frict. Wear, 2012. 33(6), 557–565 (in Russian).

Исследование окислительной стойкости УККМ в высокоскоростном потоке воздушной плазмы

Сукманов И.В., Астапов А.Н., Погодин В.А., Ртищева А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Работа выполнена в продолжение систематических исследований, проводимых в направлении создания жаропрочного углерод-керамического композиционного материала (УККМ), предназначенного для эксплуатации в скоростных высокоэнтальпийных потоках окислительных газов [1-3].

Экспериментальные образцы УККМ получали по ранее разработанной лабораторной технологии [1]. Армирующей составляющей выступала углеродная ткань на основе вискозы. Синтезированная матрица является комбинированной – состоит из частично спеченной керамики в системе HfB2-NbB2-TiB2-HfC-NbC-TiC-B4C, пиролитического углерода и пиролизного остатка кремнийорганического связующего, представленного SiC и аморфизированным углеродом. Доля фазы SiC в составе УККМ низкая и оценивается ~ 8,5-9 мас. %.

Огневые испытания образцов проводили на аэродинамическом стенде ФАУ «ЦАГИ» (г. Жуковский), оснащенном плазмотроном. Моделировали процессы термохимического взаимодействия образцов со скоростным потоком воздушной плазмы для условий полета перспективных возвращаемых летательных аппаратов в атмосфере Земли на высоте 80-100 км. Образцы испытывали в условиях ступенчатого нагрева. Выдержка на каждой ступени составляла 60 с кроме последней, на которой она была ограничена до 25 с. При этом температура на лицевой поверхности образцов ступенчато изменялась в диапазоне от Tw = 1400 до 2700 °С. Вместе с тем тыльная поверхность образцов не нагревалась выше Tw = 1750-1800 °С, что свидетельствует о высоких теплоизоляционных свойствах созданного УККМ. Общее время каждого огневого эксперимента составило 300 с. Средняя скорость линейного уноса и средняя скорость потери массы образцами за все время каждого испытания составили 0,0063 мм/с и 0,00622 г/с соответственно.

По данным структурных исследований установлено, что на поверхности образцов формируется плотная оксидная пленка, состоящая из твердых растворов вида Hf1-xTixO2, TiNbO4 и (Ti1-xHfx)NbO4, обволакивающих первичные карбиды и бориды. Толщина окисленного слоя варьируется от ~ 1,5 мм (в окрестности критической точки) до ~ 250 мкм (вдали от эпицентра воздействия потока). Ниже располагаются неокисленные компоненты матрицы и армирующие волокна. Газоплотность оксидной пленки, обусловленная переходом отмеченных растворов в вязко-текучее состояние, определяет преимущественно диффузионный режим окисления УККМ. Обсуждаются механизмы окисления и формирования гетерофазной оксидной пленки.

Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 19-79-10258-П, https://rscf.ru/project/22-79-41035/.

Литература:

1. Горохов А.С., Диденко А.А., Сукманов И.В. Технологические аспекты получения УККМ // Сборник трудов XIV Всероссийской научно-технической студенческой школы-семинара «Аэрокосмическая декада». Алушта, Республика Крым, РФ, 26 сентября – 02 октября 2021 г. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2021. – С. 33 – 36.

2. Астапов А.Н., Погодин В.А., Сукманов И.В., Матуляк А.И. Синтез in situ матриц жаропрочных композиционных материалов и жаростойких защитных покрытий // Тезисы 20-й Международной конференции «Авиация и космонавтика». Москва, 22 – 26 ноября 2021 г. – М.: Издательство «Перо», 2021 – 9,43 Мб [Электронное издание].

3. Сукманов И.В. Реакционное взаимодействие в системах B4C-Hf-Nb и B4C-C-Hf-Nb // Сборник тезисов работ XLVIII Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения – 2022». Москва, 12 – 15 апреля 2022 г. – М.: Издательство «Перо», 2022. – С. 547 – 548.

Investigation of the oxidative stability of ceramic matrix composite in a high-speed air plasma flow

Sukmanov I.V., Astapov A.N., Pogodin V.A., Rtishcheva A.S.
MAI, Moscow, Russia

The work was carried out as a continuation of systematic research conducted in the direction of creating a heat-resistant ceramic matrix composite material (CMCM) intended for operation in high-speed high-enthalpy flows of oxidizing gases [1-3].

Experimental samples of CMCM were obtained according to a previously developed laboratory technology [1]. The reinforcing component was carbon fabric based on viscose. The synthesized matrix is combined – it consists of partially sintered ceramics in the HfB2-NbB2-TiB2-HfC-NbC-TiC-B4C system, pyrolytic carbon and the pyrolysis residue of an organosilicon binder, represented by SiC and amorphized carbon. The proportion of the SiC phase in the composition of CMCM is low and is estimated at ~ 8.5-9 wt. %.

Fire tests of the samples were carried out on the aerodynamic stand of the Federal Autonomous Institute «TsAGI» (Zhukovsky), equipped with a plasma torch. The processes of thermochemical interaction of samples with a high-speed air plasma flow were modeled for the flight conditions of

promising returnable aircraft in the Earth's atmosphere at an altitude of 80-100 km. The samples were tested under conditions of stepped heating. The shutter speed at each stage was 60 s, except for the last one, at which it was limited to 25 s. In this case, the temperature on the front surface of the samples varied stepwise in the range from Tw = 1400 to 2700 °C. At the same time, the rear surface of the samples did not heat up above Tw = 1750-1800 °C, which indicates the high thermal insulation properties of the created ceramic matrix composite. The total time of each firing experiment was 300 s.

According to the data of structural studies, it was found that a dense oxide film is formed on the surface of the samples, consisting of solid solutions of the form Hf1-xTixO2, TiNbO4 and (Ti1-xHfx)NbO4, enveloping primary carbides and borides. The thickness of the oxidized layer varies from ~ 1.5 mm (in the vicinity of the critical point) to ~ 250 μm (far from the epicenter of the flow impact). Below are the non-oxidized matrix components and reinforcing fibers. The gas density of the oxide film, due to the transition of the noted solutions into a viscous-fluid state, determines predominantly the diffusion regime of ceramic matrix composite oxidation. The mechanisms of oxidation and formation of a heterophase oxide film are discussed.

The work was carried out within the framework of a grant from the Russian Science Foundation № 19-79-10258-P, https://rscf.ru/project/22-79-41035/.

References:

1. Gorokhov A.S., Didenko A.A., Sukmanov I.V. Technological aspects of obtaining UCCM // Proceedings of the XIV All-Russian Scientific and Technical Student School-Seminar «Aerospace Decade». Alushta, Republic of Crimea, Russia, September 26 – October 02, 2021. – Simferopol: IT «ARIAL», 2021. – P. 33–36 (in Russian).

2. Astapov A.N., Pogodin V.A., Sukmanov I.V., Matulyak A.I. Synthesis of in situ matrices of heat-resistant composite materials and heat-resistant protective coatings // Abstracts of the 20th International Conference «Aviation and Cosmonautics». Moscow, November 22–26, 2021. – M.: Pero Publishing House, 2021 – 9.43 Mb [Electronic edition] (in Russian).

3. Sukmanov I.V. Reaction interaction in the B4C-Hf-Nb and B4C-C-Hf-Nb systems // Collection of abstracts of the XLVIII International Youth Scientific Conference «Gagarin Readings – 2022». Moscow, April 12–15, 2022. – M.: Pero Publishing House, 2022. – P. 547–548 (in Russian).

Химически модифицированные фталонитрильные полимерные матрицы с повышенной термоокислительной стабильностью

[1]Терехов В.Е., [2]Булгаков Б.А., [2]Бабкин А.В., [2]Кепман А.В.
[1]МГУ, [2]ИНУМиТ, г. Москва, Россия

Тенденции развития авиакосмической отрасли продолжают быть нацелены на снижение массы конструкций, что достигается за счет использования полимерных композиционных материалов (ПКМ). Однако, не все ПКМ сохраняют свои эксплуатационные характеристики при повышенных температурах. При этом стойкость к таким внешним воздействиям, как температура и окислительная атмосфера, определяет полимерная матрица. Самыми термостойкими среди известных (Тст > 400 ºС, Т5% > 500 ºС) являются полимерные термореактивные матрицы на основе фталонитрилов. Однако, в окислительной атмосфере при повышенных температурах (> 300 ºС) они подвергаются окислению и деструкции, что влечет за собой потерю свойств и сокращению времени эксплуатации. [1] Одним из возможных способов улучшения термоокислительной стабильности является химическая модификация структуры полимера, в частности, введение фтора в структуру. Это возможно за счет использования фторсодержащих компонентов полимеризуемой смеси – мономеров или отвердителей.

Цель данной работы – сравнение устойчивости к окислению полимерных фталонитрильных матриц на основе широко используемых отвердителей фталонитрильных смол и их фторсодержащих синтетических аналогов.

Вклад фтора в термоокислительную стабильность изучали по данным изотермического старения и термогравиметрического анализа, в том числе методами математического моделирования кинетики процесса деструкции.

В данной работе исследовали фталонитрильные смолы на основе предоставленной компанией «ИТЕКМА» коммерческой смеси мономеров PNV и различных отвердителей: широко используемых эффективных отвердителей (АФБ и 4,4'-ДДС), а также на основе двух химически модифицированных фторсодержащих отвердителей.

По результатам изотермического старения можно сделать вывод об улучшении термоокислительной стабильности химически модифицированной полимерной матрицы. Смолы, отвержденные с помощью фторсодержащих отвердителей, продемонстрировали меньшую потерю массы, при этом в большей степени сохранили механические характеристики после термического старения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-13-00449.

Литература:

1. High-temperature phthalonitrile matrix containing silane fragments / V.E. Terekhov, A.A. Bogolyubov, O.S. Morozov, E.S. Afanaseva // Mendeleev Communications. 2020. Т. 30. №6. С. 796-798.

Chemically modified phthalonitrile polymer matrices with improved thermo-oxidative stability

[1]Terekhov V.E., [2]Bulgakov B.A., [2]Babkin A.V., [2]Kepman A.V.

[1]MSU, [2]INCMaT, Moscow, Russia

The trends in the development of the aerospace industry continue to be aimed at reducing the mass of structures, which is achieved through the use of polymer composite materials (PCM). However, not all PCMs retain their performance characteristics at elevated temperatures. At the same time, resistance to such external influences as temperature and an oxidizing atmosphere is determined by the polymer matrix. The most heat-resistant among the known ones (Tg > 400 ºC, T5% > 500 ºC) are polymeric thermoset matrices based on phthalonitriles. However, in an oxidizing atmosphere at elevated temperatures (> 300 ºC), they undergo oxidation and degradation, which leads to a loss of properties and a reduction in operating time. [1] One of the possible ways to improve the thermal-oxidative stability is the chemical modification of the polymer structure, in particular, the introduction of fluorine into the structure. This is possible due to the use of fluorine-containing components of the polymerizable mixture - monomers or curing agents.

The purpose of this work is to compare the resistance to oxidation of polymeric phthalonitrile matrices based on widely used curing agents of phthalonitrile resins and their fluorine-containing synthetic analogues.

The contribution of fluorine to the thermal-oxidative stability was studied according to the data of isothermal aging and thermogravimetric analysis, including methods of mathematical modeling of the kinetics of the destruction process.

In this work, we studied phthalonitrile resins based on a commercial mixture of monomers PNV provided by ITECMA and various curing agents: widely used effective curing agents (APB and 4,4'-DDS), as well as based on two chemically modified fluorine-containing curing agents.

According to the results of isothermal aging, it can be concluded that the thermal-oxidative stability of the chemically modified polymer matrix improves. Resins cured with fluorinated curing agents showed less weight loss while retaining better mechanical properties after thermal aging.

This work was funded by Russian Scientific Foundation, grant № 22-13-00449.

References:

1. High-temperature phthalonitrile matrix containing silane fragments / V.E. Terekhov, A.A. Bogolyubov, O.S. Morozov, E.S. Afanaseva // Mendeleev Communications. 2020. Т. 30. №6. С. 796-798.

Алгоритм и расчетная методика для оценки долговечности клеевых соединений, в том числе под воздействием факторов космического пространства, с использованием модели когезионной зоны в методе конечных элементов

Устинов А.А., Бабаевский П.Г., Козлов Н.А., Салиенко Н.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Клеевые соединения, в отличиии от механических, обеспечивают существенный выигрыш в весе и герметичности конструкций. Однако, при длительной эксплуатации, особенно в условиях космического пространства, клеевые соединения на основе конструкционных клеёв склонны к разрушению вследствие критического или докритического роста дефектов (трещин) под воздействием внешних нагрузок и факторов окружающей среды. Это обусловливает необходимость в разработке методов эффективной оценки и прогнозирования несущей способности и долговечности конструкционных клеевых соединений при заданной их геометрии и моде нагружения, конфигурации и размерах дефекта.

В рамках применимости линейной упругой механики разрушения для этого используются численные методы моделирования инициирования и роста трещин путем имплантации в метод конечных элементов модели когезионной зоны, базирующейся на микромеханическом анализе предразрушения материала вблизи кончика трещины или любом месте концентрации напряжения, называемом когезионной зоной. Современные программные пакеты ANSYS® и ABAQUS® позволяют создавать такие модели применительно к инициированию и росту трещин в конструкционных клеевых соединениях, в том числе геометрически сложной конфигурации, но для этого необходимо знать форму и параметры закона когезионной зоны, а сами модели требуют экспериментальной проверки корректности на стандартных образцах.

Разработан алгоритм и расчетная методика, основанная на имплантации в метод конечных элементов модели когезионной зоны, для условий докритического роста трещины при квазистатической моде нагружения I, базирующиеся на суммировании микроступенчатых подрастаний трещины на длину когезионной зоны и имплантированные в программный комплекс ANSYS. Установлена применимость такого подхода для оценки кинетических параметров докритического роста трещины в конструкционных клеевых соединениях при длительных квазистатических нагрузках с использованием экспериментально определенных параметров экспоненциального закона когезионной зоны. Полученные кинетические G-V диаграммы позволяют прогнозировать статическую долговечность конструкционных клеевых соединений с дефектами заданного типа, при их длительной эксплуатации. А опробованная методика экспонирования образцов клеевых соединений под вездействием факторов космического пространства, позволяет использовать такой подход для оценки долговечности клеевых соединений, используемых в долговременных космических конструкциях.

Algorithm and calculation method for evaluation the durability of adhesive joints, including under the influence of space factors, using the cohesive zone model in the finite element method

Ustinov A.A., Babaevsky P.G., Kozlov N.A., Salienko N.V.
MAI, Moscow, Russia

An algorithm and calculation technique based on implantation of a cohesive zone model into the finite element method (FEM) for conditions of subcritical crack growth under quasi-static loading mode I have been developed. The obtained kinetic G-V diagrams make it possible to predict the static durability of structural adhesive joints with defects of a given type, operated for a long time under specified conditions.

Adhesive joints, unlike mechanical ones, provide a significant gain in weight and tightness of structures. However, during long-term operation, especially in outer space, adhesive joints based on structural adhesives are prone to destruction due to critical or subcritical growth of defects (cracks) under the influence of external loads and environmental factors. This necessitates the development of methods for the effective evaluation and prediction of the bearing capacity and durability of structural adhesive joints with a given geometry and loading mode, configuration and size of the defect.

Within the framework of the applicability of linear elastic fracture mechanics, numerical methods are used to simulate the initiation and growth of cracks by implanting a cohesive zone model into the finite element method based on a micromechanical analysis of the pre-fracture of the material near the tip of the crack or any place of stress concentration called the cohesive zone. Modern software packages ANSYS® and ABAQUS® allow you to create such models in relation to the initiation and growth of cracks in structural adhesive joints, including geometrically complex configurations, but for this you need to know the shape and parameters of the law of the cohesive zone, and the models themselves require experimental verification of correctness on standard samples.

An algorithm and calculation technique based on implantation of a cohesive zone model into the finite element method for conditions of subcritical crack growth under quasi-static loading mode I, based on summation of micro-step crack growth by the length of the cohesive zone and implanted in the ANSYS software package, have been developed. The applicability of this approach for estimating the kinetic parameters of subcritical crack growth in structural adhesive joints under prolonged quasi-static loads using experimentally determined parameters of the exponential law of the cohesive zone has been established. The obtained kinetic G-V diagrams make it possible to predict the static durability of structural adhesive joints with defects of a given type, during their long-term operation. And the proven technique of exposing samples of adhesive compounds under the omnipresence of space factors allows using such an approach to assess the durability of adhesive compounds used in long-term space structures.

Применение метода неразрушающего контроля акустической эмиссией титановых сплавов при температурном воздействии

Фролова Е.О., Лобов В.А.

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

Лопатки являются основными рабочими деталями турбины и эксплуатируются в условиях агрессивной среды, под действием высоких температур и давлений. Во время работы они испытывают большие нагрузки, значительные статические и динамические температурные напряжения.

При изготовлении турбинных лопаток применяются титановые сплавы, отличающиеся от технического титана повышенной прочностью, даже при высоких температурах, и сохраняющие достаточно высокий уровень пластичности, а также коррозионной стойкости (например, титановые сплавы марок ВТ3-1, ВТ6, ВТ14, ВТ22) [1].

Технологический процесс изготовления крупногабаритных лопаток включает горячую объемную штамповку, а также ряд термических операций. В качестве контроля применяется в основном активный метод просвечивания ультразвуком, что занимает продолжительное время в связи с ограничениями на размеры пучка и наличием «мертвых» зон. Поэтому более рациональным является способ неразрушающего контроля с пассивным улавливанием звуковых воздействий, при котором рабочим телом будет термическое поле, например метод акустической эмиссии (АЭ). Акустическая эмиссия – это излучение материалом акустических волн, вызванных локальной динамической перестройкой его структур, вследствие стуктурно-фазовых превращений материала [2, 3].

В работе приведены экспериментальные исследования 5 титановых слитков указанных марок после отливки в процессе остывания, температура которых на поверхности составляла от 46° до 120°С в зависимости от скорости охлаждения каждого слитка. Контроль проводился при помощи пьезокерамических датчиков на акустикоэмиссионных системах РАНИС-11 и РАНИС-18. Для этого с каждого торца слитка крепилось по четыре датчика и два дополнительных датчика по длине. Калибровка данных осуществлялась по заведомо бракованному слитку, при отливке которого в форму попала вода. Методика поиска дефектов, основана на определении координат по длине и торцу слитка. По полученным собственным сигналам, исходящим от слитка, вследствие воздействия температурного поля в процессе остывания, получены результаты расчета локаций и графики амплитуд и импульсов сигналов АЭ.

Из анализа графиков сигналов АЭ можно сделать следующие выводы: при интенсивном остывании слитка амплитуда имеет максимальный уровень, после чего она понижается; импульсы при этом активно возрастают. Если сравнивать с бракованным слитком, то количество сигналов примерно в 5 раз ниже, что может свидетельствовать о приемлемой плавке слитка. Наличие дефектов в бракованном слитке подтверждается также результатами точечного просвечивания методом ультразвукового контроля.

Таким образом, разработанная методика контроля дефектов АЭ позволяет существенно дополнить действующий ультразвуковой метод и сократить затраты на обнаружение бракованных участков.

Литература:

1. Павлова Т.В., Кашапов О.С., Ночовная Н.А. Титановые сплавы для газотурбинных двигателей // Все материалы. Энциклопедический справочник. − 2012. − №5. − С. 4-15.

2. Ремшев Е.Ю., Данилин Г.А., Титов А.В., Ермоленков П.А. Контроль технологических и эксплуатационных свойств изделий из титановых сплавов методом акустической эмиссии // Труды МАИ. − 2018. − №99. − 7 с.

3. Войченко К.Ю., Ремшев Е.Ю., Силаев М.Ю., Глушко А.Н. Исследование возможностей оценки качества нагруженных металлических конструкций акустическими методами неразрушающего контроля // Металлообработка. − 2014. − №3 (81). − С. 10-15.

Application of the method of non-destructive testing of acoustic emission of titanium alloys under the influence of temperature

Frolova E.O., Lobov V.A.

BSTU "VOENMEH" named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russia

The blades are the main working parts of the turbine and are operated in an aggressive environment, under the influence of high temperatures and pressures. During operation, they experience heavy loads, significant static and dynamic thermal stresses.

In the manufacture of turbine blades, titanium alloys are used, which differ from technical titanium in increased strength, even at high temperatures, and retain a sufficiently high level of plasticity, as well as corrosion resistance (for example, titanium alloys of grades VT3-1, VT6, VT14, VT22) [1].

The technological process of manufacturing large-sized blades includes hot forging, as well as a number of thermal operations. As a control, mainly the active method of transillumination by ultrasound is used, which takes a very long time due to restrictions on the beam size and the presence of "dead" zones. In this regard, the most rational is the method of non-destructive testing with passive capture of sound effects, in which the working fluid is a thermal field, for example, the method of acoustic emission (AE). Acoustic emission is the emission of acoustic waves by a material caused by local dynamic rearrangement of its structures due to structural and phase transformations of the material [2, 3].

The paper presents experimental studies of 5 titanium ingots of the indicated grades after casting during cooling, the temperature of which on the surface ranged from 46° to 120° C. The control was carried out using piezoceramic sensors on acoustic emission systems RANIS-11 and RANIS-18. To do this, four sensors and two additional sensors along the length were attached to each end of the ingot. The calibration of the data was carried out on a deliberately defective ingot, during the casting of which water got into the mold. The technique for searching for defects is based on determining the coordinates along the length and end of the ingot. According to the obtained own signals coming from the ingot, due to the influence of the temperature field during the cooling process, the results of calculating the locations and graphs of the amplitudes and impulses of the AE signals were obtained.

From the analysis of graphs of AE signals, the following conclusions can be drawn: during intensive cooling of the ingot, the amplitude has a maximum level, after which it decreases; impulses are actively increasing. Compared to a defective ingot, the number of signals is about 5 times lower, which may indicate an acceptable melting of the ingot. The presence of defects in a defective ingot is also confirmed by the results of point transillumination by ultrasonic testing.

Thus, the developed method for controlling AE defects makes it possible to significantly supplement the existing ultrasonic method and reduce the cost of detecting defective areas.

References:
1. Pavlova T.V., Kashapov O.S., Nochovnaya N.A. Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik, 2012, vol. 5, pp. 4-15.
2. Remshev E.Yu., Danilin G.A., Titov A.V., Yermolenkov P.A. Trudy MAI, 2018, vol. 99, p. 7.
3. Voychenko K.Yu., Remshev E.Yu., Silayev M.Yu., Glushko A.N. Metalloobrabotka, 2014, vol. №3 (81), pp. 10-15.

Сверхпластичность в технологии композиционных материалов

Хайрутдинова Р.Р., Федоров А.А., Беспалов А.В., Комаров Р.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Компоненту из титанового сплава ВТ6с подвергали термомеханической обработке путем двухциклового горячего гидропрессования при температуре не выше 0,5 от температуры полиморфного превращения сплава со сменой направления деформации между циклами и закалкой непосредственно в воду после каждого цикла с общей накопленной истинной степенью деформации e > 3, а сборку составной заготовки осуществляли прошивкой алюминиевой компоненты сплава 1201 нагретой до температуры её горячей деформации, титановой компонентой с одновременным её скальпированием после чего составную заготовку подвергали горячему гидропрессованию с коэффициентом вытяжки λ > 8 при температуре, обеспечивающей соотношение между сопротивлениями деформации компонентов на уровне 0,8 ÷ 1,2.

Указанная последовательность операций обеспечивает широкие технологические возможности применения разнородных металлов и высокое качество биметаллических труб благодаря равномерной прочности сварки компонентов по длине трубы, без разрывов алюминиевой компоненты и высокой точностью геометрических размеров. Это обусловлено сближением сопротивлений деформации компонентов перед формоизменением составной заготовки. Макро- и микроструктура зоны соединения однородная у обоих сплавов, размер макрозерна соответствует 5 – 7 баллам по ГОСТ 5639-82. Прочность соединения оценили по результатам механических испытаний на растяжение на установке УНИС-1000 и ударный изгиб на маятниковом копре КММ-5 при комнатной температуре. Зону соединения слоев располагали в центральной части испытуемого образца поперек оси растяжения. Результаты испытаний показали высокую прочность соединения (σs = 430 ÷ 440 МПа, σ0,2 = 320 ÷ 340 МПа, δ = 8 ÷ 10 %, KCU = 0,0105 ÷ 0,018 кДж/м2).

Superplasticity in composite materials technology

Khayrutdinova R.R., Fedorov A.A., Bespalov A.V., Komarov R.S.
MAI, Moscow, Russia

The component made of titanium alloy VT6c was subjected to thermomechanical treatment by two-cycle hot hydropressing at a temperature not higher than 0.5 of the polymorphic transformation temperature of the alloy with a change in the direction of deformation between cycles and quenching directly into water after each cycle with a total accumulated true degree of deformation e > 3 , and the assembly of the composite workpiece was carried out by stitching the aluminum component of alloy 1201 heated to its temperature hot deformation, titanium component with its simultaneous scalping, after which the composite workpiece was subjected to hot hydro-pressing with an extraction coefficient λ > 8 at a temperature providing a ratio between the deformation resistances of the components at the level of 0.8 - 1.2.

The specified sequence of operations provides wide technological possibilities for the use of dissimilar metals and high quality of bimetallic pipes due to the uniform welding strength of components along the length of the pipe, without breaks of the aluminum component and high accuracy of geometric dimensions. This is due to the convergence of the deformation resistances of the components before the forming of the composite workpiece. The macro- and microstructure of the joint zone is homogeneous in both alloys, the size of the macro grain corresponds to 5-7 points according to GOST 5639-82. The strength of the joint was evaluated based on the results of mechanical tensile tests on the UNIS-1000 installation and impact bending on the KMM-5 pendulum

copra at room temperature. The junction zone of the layers was located in the central part of the test sample across the axis of tension. The test results showed high joint strength (σs = 430 ÷ 440 MPa, σ0.2 = 320 ÷ 340 MPa, δ = 8 ÷ 10 %, KCU = 0.0105 ÷ 0.018 kJ/m2).

Комбинированный нагрев поверхности потоком плазмы и лазерным излучением в лабораторных испытаниях материалов тепловой защиты

Чаплыгин А.В., Котов М.А., Якимов М.Ю., Галкин С.С.
ИПМех РАН, г. Москва, Россия

Для испытаний тепловой защиты широко применяются электродуговые и индукционные плазмотроны. В России, США, Европе, Китае и Японии созданы мощные установки для исследования термохимической стойкости материалов в условиях, моделирующих воздействие высокоэнтальпийного газового потока при входе космических аппаратов в атмосферы Марса, Венеры, внешних планет и их спутников. Данные установки обеспечивают испытания образцов высокотемпературных материалов в широком диапазоне параметров газового потока, но современные межпланетные миссии требуют дальнейшего расширения их областей моделирования. Одним из возможных направлений модернизации существующих плазмотронов может быть включение в их состав дополнительных источников радиационного нагрева. Это увеличит максимальные тепловые потоки и температуры, которые можно реализовать на поверхности материала. Комбинированный радиационно-конвективный нагрев позволит более полно и достоверно моделировать условия входа в атмосферы различных планет. Подходящим источником радиационного нагрева является волоконный лазер. В состав индукционного ВЧ-плазмотрона ВГУ-4 ИПМех РАН был включен инфракрасный волоконный лазер YPLN-1-100-200-R с высокой направленностью луча и стабильностью излучения. Проведены эксперименты по комбинированному нагреву теплозащитных материалов дозвуковыми струями азотной плазмы и лазерным излучением. Отработаны оптические методы измерения температуры с учетом возможного влияния лазерного излучения (на длине волны 1.064 мкм). Продемонстрирован техническая возможность дополнительного нагрева поверхности лазерным лучом при постоянной мощности ВЧ-плазмотрона. В результате модернизации плазмотрона ВГУ-4 в перспективе планируется получать сверхвысокие температуры поверхности в условиях комбинированного радиационно-конвективного нагрева струями плазмы и лазерным излучением. Работа выполнена по теме гранта РНФ 22-79-10083.

Combined surface heating by plasma flow and laser radiation in laboratory tests of thermal protection materials

Chaplygin A.V., Kotov M.A., Yakimov M.Yu., Galkin S.S.
IPMech RAS, Moscow, Russia

Arc-jet plasma torches and inductively coupled plasma facilities (plasmatrons) are widely used in testing TPS materials. In Russia, USA, Europe, China and Japan, powerful facilities have been created to study the thermochemical resistance of materials under conditions simulating the impact of a high-enthalpy gas flow when space vehicles enter the atmospheres of Mars, Venus, outer planets and their moons. These facilities provide testing of high-temperature materials specimens in a wide range of gas flow parameters, but modern interplanetary missions require further expansion of their operating envelopes. One of the possible directions of existing plasmatrons modernization may be addition of radiative heating sources. This will increase the maximum heat fluxes and temperatures that can be realized on the material surface. Combined radiative and convective heating will allow more complete and reliable modeling of entry into the various planets atmospheres. A suitable source of radiation heating is a fiber laser. The YPLN-1-100-200-R infrared fiber laser with high beam directivity and radiation stability was added to the VGU-4 HF-plasmatron (IPMech RAS). Experiments on combined heating of TPS materials by subsonic jets of nitrogen plasma and laser radiation have been carried out. Optical methods of temperature measurement have been developed taking into account the possible influence of laser radiation (at a wavelength of 1.064 microns). The technical possibility of additional heating of the surface by a laser beam at a constant power of the

HF-plasmatron was demonstrated. As a result of the modernization of the VGU-4 facility, it is planned in the future to obtain ultra-high surface temperatures under conditions of combined radiative and convective heating by plasma jets and laser radiation. The research was supported by the Russian Science Foundation (project No. 22-79-10083).

Определение ударной трещиностойкости слоистых полимерных композитов на основе волокон сверхвысокомолекулярного полиэтилена

Червяков А.А., Федотиков И.Д.
МАИ, г. Москва, Россия

Слоистые полимерные композиты на основе волокон сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), благодаря своим высоким удельным показателям упруго-прочностных свойств, способностью к поглощению и рассеиванию высокоскоростного динамического удара, устойчивостью к истиранию и изгибам, невосприимчивостью к действию влаги, низких температур, химической и биологической инертностью, находят широкое применение в средствах бронезащиты, в конструкционных целях, в том числе в изделиях, эксплуатирующихся в арктических условиях. При эксплуатации материалы могут подвергаться высокой скорости деформации, ударному воздействию. Расслоение является одним из основных типов разрушения материалов при ударной нагрузке. Не существует стандарта для определения параметров межслоевой трещиностойкости композитов при ударных нагрузках.

Предложена оценка ударной межслоевой трещиностойкости GIC, характеризующей энергию разрушения или сопротивление к образованию и росту трещин при действии нагрузки, перпендикулярной к плоскости трещины (нагружение по моде 1) образцов двухконсольной балки (ДКБ) слоистых композитов на основе СВМПЭ волокон, нагружаемых расклиниванием с помощью цилиндра, на который с высокой скоростью воздействует клиновой ударник. Перед испытанием цилиндр внедряется между слоями образца композита, задавая тем самым начальные раскрытие трещины 3,6 мм (равному диаметру цилиндра) и её длину.

Полуфабрикатом для изготовления образцов ДКБ являлся листовой поперечно ориентированный материал с поверхностной плотностью 238 г/м2, представляющий из себя пакет, состоящий из четырёх однонаправленных поперечно уложенных слоёв СВМПЭ волокон со схемой укладки [0,90]2 и термопластичного плёночного связующего, находящегося на поверхностных слоях СВМПЭ сверху и снизу пакета и между внутренними слоями СВМПЭ посередине. Образцы толщиной 10мм изготавливались прессованием 40 слоёв полуфабриката при различных режимах формования, при Менялось давление прессования (от 15 до 26 МПа) и время выдержки под давлением (0, 10, 20 минут) при температуре прессования. Для расчёта GIC образцы композита испытываются на поперечный изгиб по ГОСТ 25.604-82 для определения модуля упругости при изгибе.

Разработана лабораторная экспериментальная установка на основе пружинного копра для реализации скорости деформации ε̇≈10^2 с^-1. Стержень-ударник разгоняется до скоростей 5-10 м/с пружинным устройством и передаёт ударный импульс клиновому ударнику, разгоняя его до требуемого уровня скоростей в диапазоне 100-200 м/с.

Для определения величины GIC после удара измеряется величины длины трещины и раскрытия трещины, при которой увеличение длины предварительно инициированной трещины не происходит.

Determination of Impact crack resistance of layered polymer composites based on ultra high molecular weight polyethylene fibers

Chervyakov A.A., Fedotikov I.D.
MAI, Moscow, Russia

Layered polymer composites based on ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) fibers, due to their high specific elastic-strength properties, ability to absorb and dissipate high-speed dynamic impact, resistance to abrasion and bending, resistance to moisture, low temperatures,

chemical and biological inertness, are widely used in armor protection equipment, for construction applications, including in products operated in arctic conditions. During operation, materials can be subjected to high deformation rates and impact. Delamination is one of the main types of destruction of materials under impact loading. There is no standard for determining the parameters of interlaminar crack resistance of composites under impact loads.

An estimate of the impact interlayer crack resistance GIC is proposed, which characterizes the fracture energy or resistance to the formation and growth of cracks under the action of a load perpendicular to the crack plane (loading in mode 1) of samples of a double-cantilever beam (DCB) of layered composites based on UHMWPE fibers loaded by wedging using a cylinder, on which a wedge striker acts at high speed. Before testing, the cylinder is introduced between the layers of the composite sample, thereby setting the initial crack opening of 3.6 mm (equal to the diameter of the cylinder) and its length.

A semi-finished product for the manufacture of DCB samples was a transversely oriented sheet material with a surface density of 238 g/m2, which is a package consisting of four unidirectional transversely stacked layers of UHMWPE fibers with a stacking pattern of [0.90]2 and a thermoplastic film binder located on the surface layers UHMWPE top and bottom of the bag and between the inner layers of UHMWPE in the middle. Samples with a thickness of 10 mm were made by pressing 40 layers of a semi-finished product under various molding modes. The pressing pressure (from 15 to 26 MPa) and the holding time under pressure (0, 10, 20 minutes) at the pressing temperature were varied. To calculate GIC, composite samples are tested for transverse bending in accordance with GOST 25.604-82 to determine the modulus of elasticity in bending.

A laboratory experimental setup based on a spring impact tester was developed to implement the strain rate έ≈10^2 s^-1. The striker rod is accelerated to speeds of 5-10 m/s by a spring device and transmits a shock impulse to the wedge striker, accelerating it to the required speed level in the range of 100-200 m/s.

To determine the value of GIC after impact, the values of the crack length and crack opening are measured, at which the increase in the length of the previously initiated crack does not occur.

Экспериментальное определение трещиностойкости слоистых стекло- и углеэпоксикомпозитов при комбинированном межслоевом нагружении по модам I/II

Шаталин А.А., Бабаевский П.Г., Салиенко Н.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Расчетно-экспериментальная методика определения параметров межслоевой трещиностойкости слоистых полимерных композиционных материалов (ПКМ) при отрыве и сдвиге (нагружении трещин по модам I и II соответственно) в отдельности, основанная на экспериментальной оценке межслоевых локальных деформационно-прочностных свойств, позволяет оптимизировать модель когезионной зоны и получить результаты расчетов на уровне элементарных образцов с достаточной точностью при минимальном объеме вычислений. Важнейшее значение для перехода на более высокие уровни пирамиды расчетно-экспериментальной оценки межслоевой трещиностойкости элементов конструкций из слоистых ПКМ является комбинирование основных мод нагружения трещин – одновременное воздействие отрыва и сдвига.

Целью данной работы является экспериментальное определение межслоевой трещиностойкости слоистых ПКМ (стекло- и углеэпоксикомпозитов) при комбинированном нагружении отрывом и сдвигом. Испытания проводили методом трехточечного изгиба образцов в виде двухконсольной балки (ДКБ) с межслоевой краевой трещиной при укороченной нижней полубалке и опорной верхней, называемым изгибом с опорой на одну лапку (SLB). Образец для испытаний, представляет собой прямоугольную полосу шириной 20 мм, длиной 150 мм и толщиной от 2.5 мм. Для формирования начальной трещины в средней части образца между слоями в горизонтальной плоскости по всей ширине прокладывали фторопластовую плёнку толщиной 10 мкм и длиной, определяющей длину начальной трещины. В отформованном образце на половине длины закладной плёнки отрезали часть нижнего слоя. После извлечения закладной пленки и формирования кончика исходной

трещины определяли точную начальной длину трещины с помощью оптического микроскопа. Подготовленные для испытаний образцы устанавливали по меткам на две опоры испытательной машины таким образом, чтобы плоскость образца была перпендикулярна нагрузке, прилагаемой по центру образца. Скорость приложения нагрузки 1 мм/мин. При испытании фиксировали прикладываемое усилие и прогиб образца по перемещению верхнего захвата разрывной машины. Изменение длины трещины контролировали визуально с помощью катетометра. По полученным данным определяли параметры трещиностойкости слоистых стекло- и углеэпоксикомпозитов при комбинированном межслоевом нагружении по модам I/II с использованием аналитических методов.

Experimental determination of crack resistance for layered glass and carbon epoxy composites under mixed mode I/II loading

Shatalin A.A., Babaevsky P.G., Salienko N.V.
MAI, Moscow, Russia

The computational and experimental technique for determining the parameters of interlayer crack resistance of layered polymer composite materials (PCM) during separation and shear (loading of cracks according to modes I and II, respectively) separately, based on an experimental evaluation of interlayer local deformation and strength properties, allows optimizing the cohesive zone model and obtaining calculation results at the level of elementary samples with sufficient accuracy when the minimum amount of calculations. The most important value for the transition to higher levels of the pyramid of computational and experimental evaluation of interlayer crack resistance of structural elements made of layered PCM is the combination of the main modes of crack loading - the simultaneous action of separation and shear.

The aim of this work is to experimentally determine the interlayer crack resistance of layered PCM (glass and carbon-epoxy composites) under mixed mode I/II loading. The tests were carried out by the method of three-point bending of samples in the form of a double-cantilever beam (DCB) with an interlayer edge crack with a shortened lower half-beam and a supporting upper one, called a single-leg bending test (SLB). The testing sample is a rectangular strip with a width of 20 mm, a length of 150 mm and a thickness of 2.5 mm. To form an initial crack in the middle part of the sample, a fluoroplastic film with a thickness of 10 microns and a length determining the length of the initial crack was laid between the layers in a horizontal plane along the entire width. In the molded sample, a part of the lower layer was cut off at half the length of the embedded film. After removing the embedded film and forming the tip of the initial crack, the exact initial length of the crack was determined using an optical microscope. The samples prepared for testing were installed according to the marks on two supports of the testing machine so that the plane of the sample was perpendicular to the load applied in the center of the sample. The speed of application of the load is 1 mm/min. During the test, the applied force and deflection of the sample were recorded by moving the upper grip of the testing machine. The change in the crack length was monitored visually using a cathetometer. According to the data obtained, the parameters of crack resistance of layered glass and carbon epoxy composites were determined under mixed mode I/II loading use analytical methods.

О модифицировании силуминов титаном

Шляпцева А.Д., Моисеев В.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Модифицирование алюминиево-кремниевых сплавов (силуминов) направлено на изменение размеров и/или формы их структурных составляющих с целью улучшения (повышения) их свойств (чаще механических).

Известно, что титан, в количествах от 0,05 до 0,2 масс. % оказывает положительное влияние на структуру алюминия, значительно измельчая зерно. При большем содержании титана структура огрубляется из-за роста интерметаллидов Al3Ti. Однако данные по легирующему и модифицирующему влиянию титана (до 0,2 масс. %) на до-эвтектические и эвтектические силумины весьма противоречивы.

Для обоснования модифицирующей роли титана в силуминах были проведены исследования по определению влияния титана на структуру и свойства силумина в зависимости от способа его ввода в расплав. Полученные результаты показали, что эффективность модифицирования силуминов титаном зависит не только от количества введенного титана, но и от способа его ввода.

Титан в эвтектический сплав АК12 вводили с помощью лигатуры Al – 4% Ti; титановой губки; солью гексафтортитанатом калия; диоксидом титана, а также совместно с фтористыми и хлористыми флюсами. Количество добавок определялось из условия расчетного содержания титана в сплаве равного 0,1% по массе.

В порядке возрастания относительного удлинения силумина и фактического содержания титана добавки можно расположить в следующем порядке: диоксид титана (1,9 %, 0,003% Ti), без модифицирования (2,3 %, 0,003% Ti), лигатура (3,1 %, 0,1% Ti), соль (5,3 %, 0,08% Ti), Ti губка (5,77 %, 0,08% Ti). Совместно с флюсом порядок несколько меняется: без модифицирования титаном (8,1 %, 0,003 %Ti), Ti губка (9,5 %, 0,09%Ti), соль (9,7 %, 0,12%), лигатура (11,08 %, 0,1%Ti), диоксид титана (13,2%, 0,06%Ti). Предел прочности на разрыв варьируется от 140 МПа (для не модифицированного сплава) до 190 МПа (при модифицировании солью). Анализ макроструктуры показал, что наблюдается прямая зависимость размера зерна от фактического содержания титана – чем больше содержится титана в сплаве, тем меньше размер зерна.

Таким образом, показано положительное влияние титана на механические свойства, макро- и микроструктуру силумина. Однако уровень свойств и степень модифицирования структуры зависят от способа ввода титана. Наиболее эффективный способ ввода титана солью или диоксидом титана совместно с флюсом. Модифицирование лигатурой обеспечивает 100% выход титана, однако, на эффективность модифицирования оказывает влияние качество лигатуры, а именно параметры интерметаллидов TiAl3 в лигатуре: их количество, размеры, морфология. Модифицирование с помощью титановой губки с технологической точки зрения не выгодно, так как требуется длительное замешивание губки в расплав.

1. Напалков, В.И. Модифицирование алюминиевых сплавов: монография / В.И. Напалков, С.В. Махов, А.В. Поздняков ; под ред. д-ра техн. наук В.И. Напалкова. - М. : Изд. Дом МИСиС, 2017. - 348 с.

2. Никитин К.В. Модифицирование и комплексная обработка силуминов: учебн. пособие / К.В. Никитин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 92 с.

3. Shlyaptseva, A.D., Petrov, I.A., Ryakhovskii, A.P. Prospects of using titanium dioxide as a component of modifying composition for aluminum casting alloys. Materials Science Forum, 2019, 946 MSF, p. 636–643.

On the modification of silumins with titanium

Shlyaptseva A.D., Moiseev V.S.
MAI, Moscow, Russia

Modification of aluminum-silicon alloys (silumins) is aimed at changing the size and / or shape of their structural components in order to improve (increase) their properties (often mechanical).

It is known that titanium, in amounts from 0.05 to 0.2 wt. % has a positive effect on the structure of aluminum, significantly grinding the grain [1,2,3]. At a higher titanium content, the structure coarsens due to the growth of Al3Ti intermetallic compounds. However, data on the alloying and modifying effect of titanium (up to 0.2 wt.%) on pre-eutectic and eutectic silumins are very contradictory.

To substantiate the modifying role of titanium in silumins, studies were carried out to determine the effect of titanium on the structure and properties of silumin, depending on the method of its introduction into the melt. The results obtained showed that the efficiency of modifying silumins with titanium depends not only on the amount of introduced titanium, but also on the method of its introduction.

Titanium was introduced into the AK12 eutectic alloy using an Al–4% Ti master alloy; titanium sponge; a salt of potassium hexafluorotitanate; titanium dioxide, as well as together with fluorine and

chloride fluxes. The amount of additives was determined from the condition of the calculated titanium content in the alloy equal to 0.1% by weight.

In ascending order of the relative elongation of silumin and the actual titanium content, the additives can be arranged in the following order: titanium dioxide (1.9%, 0.003% Ti), without modification (2.3%, 0.003% Ti), master alloy (3.1%, 0.1% Ti), salt (5.3%, 0.08% Ti), Ti sponge (5.77%, 0.08% Ti). Together with the flux, the order changes somewhat: without modification with titanium (8.1%, 0.003% Ti), Ti sponge (9.5%, 0.09% Ti), salt (9.7%, 0.12%), ligature (11.08%, 0.1%Ti), titanium dioxide (13.2%, 0.06%Ti). The tensile strength varies from 140 MPa (for an unmodified alloy) to 190 MPa (for salt modification). An analysis of the macrostructure showed that there is a direct dependence of the grain size on the actual titanium content - the more titanium is contained in the alloy, the smaller the grain size.

Thus, the positive effect of titanium on the mechanical properties, macro- and microstructure of silumin is shown. However, the level of properties and the degree of structure modification depend on the way titanium is introduced. The most effective way to introduce titanium salt or titanium dioxide together with the flux. Modification with an alloy provides 100% titanium yield, however, the quality of the alloy affects the modification efficiency, namely the parameters of TiAl3 intermetallic compounds in the alloy: their quantity, size, morphology. Modification with a titanium sponge is not advantageous from a technological point of view, since a long mixing of the sponge into the melt is required.

1. Napalkov, V.I. Modification of aluminum alloys: monograph / V.I. Napalkov, S.V. Makhov, A.V. Pozdnyakov ; edited by Dr. of Technical Sciences V.I. Napalkov. - M. : Izd. Dom MISiS , 2017. - 348 p.

2. Nikitin K.V. Modification and complex processing of silumins: textbook. manual / K.V. Nikitin. – 2nd ed., reprint. and additional – Samara: Samara State Technical University. un-t, 2016. – 92 p.

3. Shlyaptseva, A.D., Petrov, I.A., Ryakhovskii, A.P. Prospects of using titanium dioxide as a component of modifying composition for aluminum casting alloys. Materials Science Forum, 2019, 946 MSF, p. 636–643.

9. Экономика и менеджмент предприятий аэрокосмического комплекса

9. Economics and management at enterprises of aerospace complexes

Оценка развития процесса цифровизации высокотехнологичных отраслей промышленности

Латыпов Е.Р., Костыгова Л.А., Голов Г.Р.
МАИ, г. Москва, Россия

В современных условиях решающим направлением развития экономики России является использование внутреннего потенциала. В промышленности такой подход, прежде всего, связан с интенсивным развитием высокотехнологичного машиностроительного сектора, в том числе авиации и космонавтики. Безусловно, что цифровизация этих отраслей позволяет значительно усилить получаемый эффект за счет использования новых инструментов. Специалисты отмечают, что их набор значительно широк и должен быть определен для конкретных производств [1-5]. К ним в первую очередь следует отнести PLM-системы, технологии цифровых двойников, искусственного интеллекта, машинного обучения, цифрового прототипирования, промышленных роботов, искусственного интеллекта, машинного обучения, цифрового прототипирования, сенсорики, беспроводной связи, блокчейна, Big Data, виртуальной и дополненной реальности, товара как услуги, компьютерного зрения, смарт-контрактов, промышленного интернета вещей, умных фабрик.

С целью оценки развития процесса цифровизации и выбора наиболее перспективных инструментов в сложившихся производственных условиях предлагается использовать три уровня оценки цифровых инструментов:

- Низкий (начальный уровень применения);
- Средний (удовлетворительный уровень применения);
- Продвинутый (высокий уровень применения, характеризующийся преобладающей ролью рассматриваемого инструмента).

Следует учитывать, что достаточный уровень цифровизации может быть достигнут только при управлении полным жизненным циклом продукции, включающим не только сферу производства, но и сферы маркетинга, логистических связей, сопровождения продаж, сервисного облуживания.

Assessment of the development of digital processes in high-tech industries

Latypov E.R., Kostygova L.A., Golov G.R.
MAI, Moscow, Russia

In modern conditions, the decisive direction in the development of the Russian economy is the use of internal potential. In industry, this approach is primarily associated with the intensive development of the high-tech engineering sector, including aviation and astronautics. Of course, the digitalization of these industries can significantly enhance the effect obtained through the use of new tools. Experts note that their set is much broader and should be determined for specific industries [1-5]. These primarily include PLM systems, digital twin technologies, artificial intelligence, machine learning, digital prototyping, industrial robots, artificial intelligence, machine learning, digital prototyping, sensors, wireless communications, blockchain, Big Data, virtual and augmented reality , goods as a service, computer vision, smart contracts, industrial internet of things, smart factories.

In order to assess the development of the digitalization process and select the most promising tools in the current production environment, it is proposed to use three levels of evaluation of digital tools:

- Low (initial level of application);
- Medium (satisfactory level of application);

• Advanced (high level of application, characterized by the predominant role of the instrument in question).

It should be borne in mind that a sufficient level of digitalization can only be achieved by managing the full life cycle of products, including not only the production sector, but also the areas of marketing, logistics, sales support, and after-sales service.

Технология дифференцированного подхода к обучению иностранному языку студентов аэрокосмических специальностей в модульном образовании

Левичева С.В., Кочеревская Л.Б.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность. В рамках современной проблемы разработки содержания модулей или блоков образовательного пространства вуза целесообразно рассмотреть дифференцированный подход к обучению студентов в разноуровневых группах. Таким образом можно обеспечить индивидуальные траектории обучения студентов и достигнуть лучшие результаты освоения дисциплины.

Цель работы – изучить преимущества дифференцированного подхода к обучению английскому языку студентов аэрокосмических специальностей МАИ.

В текущем учебном году в вузе проводится экспериментальная работа по внедрению дифференцированного подхода к обучению ряда дисциплин. Данное обстоятельство и побудило изучить особенности применения дифференцированного подхода к обучению иностранного языку студентов аэрокосмических специальностей.

Обзор. За последние годы накоплен обширный материал по данной тематике в условиях высшей школы (Ю. В. Голованова, С.А. Кобцева, Ю.В. Парышев, А.М. Стариков). Однако, отсутствуют работы по применению данного подхода к изучению иностранного языка студентами авиационных специальностей.

В рамках данного исследования необходимы выполнить следующие задачи: проанализировать научно-методическую литературу по проблемам дифференциации процесса обучения; выявить совокупность педагогических условий, необходимых для успешной реализации дифференцированного обучения в высшей школе; разработать комплекс дидактических средств и научно-методические рекомендации для оптимальной организации процесса обучения в вузе на основе дифференциации.

Прежде всего, для определения уровней владения английским языком преподавателями кафедры проведено тестирование студентов первого курса аэрокосмических специальностей. В соответствии с Европейской шкалой уровней (A, B, C) результаты показали, что преобладают студенты с уровнем A2 и B1.

Выводы: анализ ряда исследований показал, что применение дифференцированного подхода обосновано, так как способствует формированию позитивной познавательной мотивации студентов, повышает заинтересованность в изучении иностранного языка, способствует развитию творческой активности и самостоятельности студентов, помогает выстроить индивидуальную траекторию обучения.

Для эффективной реализации дифференцированного обучения английскому языку необходимо создать оптимальную дидактическую среду, выявить и сформировать соответствующие педагогические условия.

Литература:

1. Голованова, Ю. В. Модульность в образовании: методики, сущность, технологии // Молодой ученый. — 2013. — № 12 (59). — С. 437-442. — URL: https://moluch.ru/archive/59/8492/ (12.10.2022).

2. Кобцева, С.А. Дифференцированное обучение в высшем учебном заведении: на примере изучения иностранного языка студентами нелингвистических специальностей. Автореф.к.пед.н. М., 2007. С.23 (09.10.2022).

3. Парышев Ю.В. Дифференцированное обучение как условие оптимизации образовательного процесса. дис. … канд. пед. наук: 13.00.01– общая педагогика, история педагогики и образования/ Ю.В.Парышев. Москва, 2005. С.147. (12.10.2022).

4. Стариков, А. М. Применение технологии разноуровневого обучения иностранному языку: способы повышения эффективности и индивидуальные образовательные треки учеников // Молодой ученый. — 2018. — № 48 (234). — образования С. 321-323. — URL: https://moluch.ru/archive/234/54174/ (09.10.2022).

Technology of a differentiated approach to teaching a foreign language to students of aerospace specialties in modular education

Levicheva S.V., Kocherevskaya L.B
MAI, Moscow, Russia

Relevance. Within the framework of a modern task of working out contents of modules or blocks of the institute's educational environment it's necessary to examine differentiated approach to teaching students in the groups with different level of training. Thus, individual ways of students' training can be provided and better results can be achieved. The purpose of this research is to investigate the advantages of a differentiated approach to teaching English to students of aerospace specialties of MAI.

This academic year the experimental work is carried out at the institute to introduce a differentiated approach to teaching several disciplines. That is why we decided to study the specifics of a differentiated approach application to teaching a foreign language to students of aerospace specialization.

Review. During several years, extensive material has been carried out on this topic in the terms of higher education (Yu. V. Golovanova, S.A. Kobtseva, Yu.V. Paryshev, A.M. Starikov). However, there are no works on the application of this approach to students of aviation specialization.

Within the framework of the investigation, the following tasks should be fulfilled: to analyze the scientific and methodological literature on the problems of differentiation of the learning process; to identify and justify the number of pedagogical conditions necessary for the successful implementation of differentiated education in the higher education; to develop a number of didactic tools and scientific and methodological recommendations for the optimal organization of the learning process at the institute on the basis of differentiation.

Firstly, to determine the levels of English proficiency, the teachers of the department tested first-year students of aerospace specialization. According to the European Scale of levels (A, B, C), the results showed that students with A2 and B1 levels predominate.

Conclusions: the analysis of some theoretical and practical studies has shown that the use of a differentiated approach is justified, as it makes a contribution to the formation of positive cognitive motivation of students, increases interest in studying a foreign language, promotes the development of creative activity and independence of students, helps to build an individual learning path.

For the effective implementation of differentiated English teaching, it is necessary to build an ideal didactic environment, identify and form appropriate pedagogical conditions.

References:

1. Golovanova, Yu. V. Modularity in education: methods, essence, technologies // Young scientist. — 2013. — № 12 (59). — Pp. 437-442. — URL: https://moluch.ru/archive/59/8492 / (12.10.2022).

2. Kobtseva, S.A. Differentiated education in a higher educational institution: on the example of learning a foreign language by students of non-linguistic specialties. Autoref.k.ped.N. M., 2007. p.23 (09.10.2022).

3. Paryshev Yu.V. Differentiated learning as a condition for optimizing the educational process. dis. ... Candidate of Pedagogical Sciences: 13.00.01– general pedagogy, history of pedagogy and education/ Yu.V.Paryshev. Moscow, 2005. p.147. (12.10.2022).

4. Starikov, A.M. Application of technology of multi-level teaching of a foreign language: ways to increase efficiency and individual educational tracks of students // Young scientist. — 2018. — № 48 (234). — education pp. 321-323. — URL: https://moluch.ru/archive/234/54174 / (09.10.2022).

Применение дифференцированного подхода к работе с персоналом на базе ролевой модели

Акимов А.А.
РКК «Энергия», г. Королёв, Россия

За последние десятилетия укрепилась общемировая тенденция роста высокотехнологичного сектора мировой экономики. Главными ресурсами для создания продукции отрасли являются расходы на НИОКР и высококвалифицированный (в том числе узкопрофильный) персонал, так называемых специальностей STEM (наука, технологии, инженерия и математика), обладающий достаточным уровнем компетенций для формирования передовых технологических нововведений.

Высокий спрос, а также запрос государственного и мирового значения, приводит к увеличению численности сотрудников, занятых разработкой, внедрением, адаптацией и усовершенствованием технологий и, в свою очередь, к острой необходимости привлечения и подготовки соответствующих уровню кадров. Таким образом, в условиях перехода к «экономике знаний», вектор внимания предприятий стал направлен на человеческий капитал, чья ключевая функция как раз и заключается в создании и эффективном управлении инновациями как необходимым конкурентным преимуществом.

Человеческий капитал не только совокупность трудовых ресурсов, но и накопленные знания, навыки, умения, способности, опыт, реализация которых в процессе трудовой деятельности ведет к более высокому уровню благополучия предприятия, отрасли и экономики в целом. Одним из важнейших рычагов расстановки, подготовки, повышения эффективности персонала является углубление дифференцированного подхода в работе с различными категориями сотрудников. Именно показатель глубины кадровой дифференциации в вырабатываемых компаниями мерах по кадровому обеспечению, активному инициированию и внедрению необходимых изменений и актуальных новаций, присущих наукоёмкой отрасли, призван принести наибольший эффект.

Важным условием поддержания конкурентоспособности предприятия является оптимизация настройки различных элементов кадровой политики. В данном контексте речь идет о необходимости гармонизации противоположных по своей направленности задач: поддержание конкурентоспособности на рынке труда, для чего необходимы вложения в персонал - ФОТ, бюджет обучения и развития и так далее; поддержание конкурентоспособности продуктов/услуг по соотношению цена-качество, что накладывает объективные ограничения на затраты на персонал.

Решение данного противоречия возможно путем применения ролевой модели, которая предполагает дифференциацию сотрудников по двум критериям: сложность выполняемых задач и эффективность и результативность. Такой подход позволяет по-разному выстраивать работу с разными группами сотрудников: 1) обеспечивать более высокие темпы роста зарплаты наиболее ценным сотрудникам; 2) сохранение и воспроизводство уникальных компетенций; 3) стабильность кадрового состава ключевых сотрудников;

4) высвобождение неэффективных сотрудников;

В результате такой подход позволяет повысить производительность труда и обеспечить устойчивые позиции предприятия высокотехнологичной отрасли.

Литература:

1. Акимов А.А., Тихонов А.И. Цифровая трансформация: основные тенденции и влияние на систему управления персоналом предприятия//Вестник Академии знаний. 2020. № 3 (38). С. 36-43.

2. Акимов А.А., Тихонов А.И. Применение матрицы компромиссов в управлении персоналом на предприятиях авиационной промышленности//Московский экономический журнал. 2020. № 5. С. 77.

3. Акимов А.А., Тихонов А.И. Применение системы грейдирования как современного инструмента управления заработной платой на предприятиях авиационной промышленности//Московский экономический журнал. 2020. № 3. С. 39.

Application of a differentiated approach to work with personnel based on a role model

Akimov A.A.
RSC “Energiya”, Korolev, Russia

Over the past decades, the global trend of growth of the high-tech sector of the world economy has strengthened. The main resources for the creation of industry products are R&D expenses and highly qualified (including narrow-profile) personnel of the so-called STEM specialties (science, technology, engineering and mathematics) with a sufficient level of competence to form advanced technological innovations.

High demand, as well as a request of national and global importance, leads to an increase in the number of employees engaged in the development, implementation, adaptation and improvement of technologies and, in turn, to the urgent need to attract and train appropriate personnel. Thus, in the context of the transition to the "knowledge economy", the vector of attention of enterprises has become focused on human capital, whose key function is precisely to create and effectively manage innovations as a necessary competitive advantage.

Human capital is not only a set of labor resources, but also accumulated knowledge, skills, abilities, experience, the implementation of which in the course of work leads to a higher level of well-being of the enterprise, the industry and the economy as a whole. One of the most important levers of staff placement, training, and efficiency improvement is the deepening of a differentiated approach in working with different categories of employees. It is the indicator of the depth of personnel differentiation in the personnel support measures developed by companies, the active initiation and implementation of the necessary changes and relevant innovations inherent in the knowledge-intensive industry that is designed to bring the greatest effect.

An important condition for maintaining the competitiveness of the enterprise is to optimize the settings of various elements of personnel policy. In this context, we are talking about the need to harmonize tasks that are opposite in their orientation: maintaining competitiveness in the labor market, which requires investments in personnel, the training and development budget, and so on; maintaining the competitiveness of products/services in terms of price-quality ratio, which imposes objective restrictions on personnel costs.

The solution of this contradiction is possible by applying a role model, which involves the differentiation of employees according to two criteria: complexity of the tasks performed and efficiency and effectiveness. This approach allows you to build work with different groups of employees in different ways: 1) ensure higher rates of salary growth for the most valuable employees; 2) preservation and reproduction of unique competencies; 3) stability of the personnel of key employees;

4) release of inefficient employees;

As a result, this approach makes it possible to increase labor productivity and ensure a stable position of the enterprise in the high-tech industry.

References:

1. Akimov A.A., Tikhonov A.I. Digital transformation: the main trends and impact on the personnel management system of the enterprise//Bulletin of the Academy of Knowledge. 2020. No. 3 (38). pp. 36-43.

2. Akimov A.A., Tikhonov A.I. Application of the compromise matrix in personnel management at aviation industry enterprises//Moscow Economic Journal. 2020. No. 5. p. 77.

3. Akimov A.A., Tikhonov A.I. Application of grading system as a modern tool for wage management at aviation industry enterprises//Moscow Economic Journal. 2020. No. 3. p. 39.

Обоснование выбора опросной шкалы как инструмента повышения чувствительности модели выявления скрытых конфликтов персонала аэрокосмической отрасли

Алексеева П.А.
МАИ, г. Москва, Россия

В современных компаниях авиационной отрасли перед руководством стоят важные задачи, одна из которых – сохранение трудового потенциала сотрудников. В связи с этим необходимо минимизировать возможный уровень конфликтности персонала, работающего в компании.

Залогом успешного выполнения экономических показателей, целей и задач, стоящих перед компанией, является слаженная и бесконфликтная работа ее персонала. В настоящее время перед HR [1] стоит задача выявить возможные скрытые конфликты, которые возникают у сотрудников при работе и контактировании их со своими коллегами, сотрудниками смежных подразделений, отделов. Для выполнения поставленной задачи HR-специалистам необходимо выполнить ряд действий: провести опрос сотрудников, провести анализ и обработку полученной информации и сделать вывод об уровне конфликтности.

Существующие методы позволяют идентифицировать уже существующие конфликты. Недостатком таких методов является уже достигнутое влияние конфликта на производственный цикл и ухудшенные экономические показатели. Авторы предлагают на основе данных исследования подход, который позволяет определить скрытые конфликты между субъектами на ранней стадии. Новый подход позволяет обнаружить [2] остроконфликтную обстановку среди определенных контрагентов-участниками, не дожидаясь роста конфликтной напряженности, вовлечения в конфликт прочих участников и его открытого периода с финансовыми потерями. Потому для реализации скрытой остроконфликтной ситуации необходимо как минимум два участника, этот случай употребляется в предлагаемом подходе.

Путем опроса исследуется уровень конфликтности персонала современных компаний. Личностные тесты используются в исследовательских целях и в качестве источников информации об участниках конфликта. На сегодняшний день в психологии пока не разработан опросник или тест, специально предназначенный для определения такого свойства личности, как конфликтность, отражающего частоту вступления сотрудника в межличностные конфликты. Поэтому специалисты используют ряд апробированных тестов, которые фиксируют выраженность качеств, свойств и состояний, указывающих на повышенную конфликтность личности. Сейчас наиболее часто проводимыми опросами среди персонала являются: опросник А.Басса – А.Дарки, шкала реактивной и личной тревожности Ч. Спилберга – Ю.Ханина. Наиболее известными зарубежными методиками изучения конфликтов в коллективах являются шкала организационного конфликта, разработанная К.В. Кохом и шкала внутригруппового конфликта, получившая широкое распространение в разных модификациях. Шкала внутригруппового конфликта содержит две субшкалы (конфликт отношения и конфликт задачи).

Таким образом, самым оптимальным и целесообразным является подход, в котором воздействие на конфликтующие стороны с целью снижения уровня конфликтности производится на самой ранней стадии – дискомфорта. Для обеспечения такого воздействия на конфликтующие стороны требуется их безошибочная идентификация.

Литература:

1. Алексеева, П. А. Современные модели снижения конфликтности персонала предприятий аэрокосмического комплекса / П. А. Алексеева, В. М. Краев // Московский экономический журнал. – 2021. – № 1. – С. 28.

2. Алексеева, П. А. Формирование модели для выявления конфликтных ситуаций / П. А. Алексеева // Гагаринские чтения - 2022 : Сборник тезисов работ международной молодёжной научной конференции XLVIII, Москва, 12–15 апреля 2022 года. – Москва: Издательство "Перо", 2022. – С. 620-621.

Justification of the choice of the survey scale as an instrument for increasing the sensitivity of detecting hidden conflicts model of the aerospace industry personnel

Alekseeva P.A.

MAI, Moscow, Russia

In modern companies in the aviation industry, the management faces important tasks, one of which is to preserve the labor potential of employees. In this regard, it is necessary to minimize the possible level of conflict of personnel working in the company. The key to the successful fulfillment of economic indicators, goals and objectives facing the company is the coordinated and non -conflict work of its staff. Currently, HR [1] is faced with the task of identifying possible hidden conflicts that

employees arise when working and contacting them with their colleagues, related departments, departments. To complete the task, HR specialists need to perform a number of actions: conduct an employee survey, analyze and process the information received and draw a conclusion about the level of conflict.

Existing methods allow you to identify existing conflicts. The disadvantage of such methods is the already achieved impact of the conflict on the production cycle and worsened economic indicators. The authors offer on the basis of research data an approach that allows you to determine hidden conflicts between subjects at an early stage. The new approach allows us to detect [2] an acute-conflict situation among certain counterparties participating, without waiting for the growth of conflict tension, involving other participants in the conflict and its open period with financial losses. Therefore, for the implementation of a hidden acute -conflict situation, at least two participants are needed, this case is used in the proposed approach.

Through the survey, the level of conflict of personnel of modern companies is investigated. Personal tests are used for research purposes and as sources of information about the participants in the conflict. To date, in psychology, a questionnaire or test is not yet developed, specially designed to determine such a personality trait as a conflict that reflects the frequency of the employee's entry into interpersonal conflicts. Therefore, experts use a number of tested tests that record the severity of qualities, properties and conditions indicating an increased personality conflict. Now the most commonly conducted polls among staff are: the questionnaire of A. Bass - A. Darks, the scale of reactive and personal anxiety of C. Spilberg - Yu. Khanin. The most famous foreign methods for studying conflicts in groups are the scale of organizational conflict developed by K.V. Koch and the scale of intra -group conflict, which is widely used in different modifications. The scale of the intra -group conflict contains two subships (the conflict of relations and the conflict of the problem).

Thus, the most optimal and appropriate is the approach in which the effect on the conflicting aspects in order to reduce the level of conflict is carried out at the very early stage - discomfort. To ensure such impact on the conflicting aspects, their unmistakable identification is required.

References:

1. Alekseeva, P. A. Modern models of reducing the conflict of personnel of the enterprises of the aerospace complex / P. A. Alekseeva, V. M. Kraev // Moscow Economic Journal. - 2021. - No. 1. - P. 28.

2. Alekseeva, P. A. Formation of a model to identify conflict situations / P. A. Alekseev // Gagarin readings - 2022: a collection of abstracts of the international youth scientific conference XLVIII, Moscow, April 12–15, 2022. -Moscow: Public Publishing House, 2022.-S. 620-621.

Повышение экономической устойчивости машиностроительных предприятий России в период масштабного санкционного режима

Арсеньева Н.В., Тихонов Г.В., Путятина Л.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Современный санкционный режим, в котором оказалась Россия, приводит к необходимости на предприятиях машиностроения решать множество новых стратегических задач и условий их развития в ближайшей и отдаленной перспективе. В сложившихся условиях именно машиностроение имеет тот производственный потенциал, который при определенном совершенствовании может решить наиболее сложные и первостепенные задачи, стоящие перед экономикой страны.

Масштабность происходящих изменений в мировой экономике настоятельно требует повышения экономической устойчивости предприятий, определяющих не только их отраслевой статус, но и положение в национальной и мировой экономике.

В докладе подробно рассматривается современное понятие «экономическая устойчивость предприятий» и возможности ее повышения, которые имеют особое значение в условиях повышения уровня неопределенности мировых экономических процессов.

Анализируются факторы, влияющие на экономическую устойчивость предприятий, которые в общем случае делятся на три группы: факторы предложения; факторы спроса; факторы распределения и перераспределения.

Акцентируется внимание на том, что оценка условий внешней экономической среды в значительной степени влияет на достигнутый уровень экономического развития предприятия, а, следовательно, на его экономическую устойчивость. Анализируются различные состояния внешней среды предприятий. Приводятся методические тонкости определения экономической устойчивости машиностроительных предприятий, а также методика определения комплексного показателя уровня экономической устойчивости предприятия (ЭУП) который осуществляется экспертным путем на основе бальных оценок.

По всем направлениям рассматривается система наиболее важных показателей, каждому показателю в соответствии с его значением присваивается определенный уровень устойчивости и соответствующее количество баллов.

Под экономической устойчивостью предприятия (ЭУП) понимается совокупность используемых экономических ресурсов, обеспечивающих высокие экономические результаты расширенного воспроизводства и устойчивого экономического роста в длительной перспективе, с учетом постоянно изменяющихся внешних факторов.

Подход к анализу факторов устойчивого роста требует системной их классификации на основании рыночных категорий, данные факторы могут быть дифференцированы на три группы: факторы предложения; факторы спроса; факторы распределения и перераспределения.

Экономическая устойчивость предприятия обеспечивается: обоснованностью целей и задач развития предприятия в условиях осложненной экономической среды.

Increasing the Economic Stability of Russian Machine-Building Enterprises During the Large-Scale Sanctions Regime

Arsenieva N.V., Tikhonov G.V., Putyatina L.M.
MAI, Moscow, Russia

The current sanctions regime in which Russia finds itself leads to the need for machine-building enterprises to solve many new strategic tasks and conditions for their development in the near and long term. Under the current conditions, it is mechanical engineering that has the production potential, which, with a certain improvement, can solve the most complex and primary tasks facing the country's economy.

The scale of the ongoing changes in the global economy urgently requires an increase in the economic stability of enterprises, which determine not only their sectoral status, but also their position in the national and global economy.

The report examines in detail the modern concept of "economic sustainability of enterprises" and the possibilities of its improvement, which are of particular importance in conditions of increasing uncertainty of global economic processes.

The factors influencing the economic stability of enterprises are analyzed, which are generally divided into three groups: supply factors; demand factors; distribution and redistribution factors.

Attention is focused on the fact that the assessment of the conditions of the external economic environment significantly affects the achieved level of economic development of the enterprise, and, consequently, its economic stability. Various conditions of the external environment of enterprises are analyzed. The methodological subtleties of determining the economic stability of machine-building enterprises are given, as well as the methodology for determining the complex indicator of the level of economic stability of an enterprise, which is carried out by expert means based on point estimates.

A system of the most important indicators is considered in all directions, each indicator is assigned a certain level of stability and an appropriate number of points in accordance with its value.

The economic sustainability of an enterprise (EUP) is understood as a set of economic resources used to ensure high economic results of expanded reproduction and sustainable economic growth in the long term, taking into account

Подкастинг через мобильные телефоны как шаг от пассивного аудирования к активному говорению

Артюшина Г.Г., Шейпак О.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность. Информационные технологии уже давно проникли во все сферы деятельности людей, став, в том числе неотъемлемой частью образовательного процесса, а коронавирусная пандемия 2020–2021 гг. подтвердила этот факт. В настоящее время в мире насчитывается более 1,5 млрд. мобильных телефонов. В этих условиях стремительный прогресс в области информационных и коммуникационных технологий вызвал рост популярности и мобильных технологий, и мобильных устройств.

Гипотеза. Все наши студенты активно используют разные сетевые технологии для общения в повседневной жизни (WhatsApp, Telegram и др.). В этом контексте на кафедре «Иностранный язык для технологических специальностей» МАИ проведена работа по поиску такой сетевой технологии, которая оказалась бы инновационной и при этом заинтересовала бы студентов при обучении иностранному языку. В процессе поиска и анализа таких технологий был выбран подкастинг с использованием мобильных телефонов для их прослушивания.

Исследование. В качестве мобильной технологии мы выбрали подкастинг и подкасты, так как они обладают большим образовательным потенциалом развития. По мнению студентов, подкасты оказались творческими и познавательными, с одной стороны, и действительно мотивирующим образовательным инструментом, с другой. Они также являются перспективной технологией в обучении иностранным языкам как Интернет-ресурс, потому что они: 1) быстро и регулярно обновляются; 2) могут быть доступны в любое время на мобильных устройствах; 3) бывают разных типов и форматов. Изучая материалы нескольких Интернет-ресурсов, мы ориентировались на различные темы, перекликающиеся с основными вопросами в студенческих учебниках. Были проанализированы Интернет-ресурсы с различных образовательных сайтов. С 2012 года авторы постепенно внедряли подкастинг в процесс изучения английского языка, а пандемия 2020 г. неимоверно ускорила этот процесс. Анкетирование бакалавров и магистров в течение нескольких лет подтвердило хорошо известный факт, что аудирование и говорение являются наиболее сложными коммуникационными компетенциями для студентов, хотя в процессе общения среднестатистический человек 30 % времени говорит и 45 % времени слушает. Аудирование – одна из самых сложных компетенций в изучении английского языка. Аудирование – единственный вид речевой деятельности, где от слушающего практически ничего не зависит. Разнообразные трудности при аудировании можно разделить на три группы, среди них связанные с: 1) особенностями процессов аудирования и говорения слушающего; 2) речью носителя языка; 3) композицией аудиозаписи.

Новизна и практическая значимость. С 2018 г. работа с подкастами на кафедре перешла на новый уровень: стартовал новый учебный проект, в рамках которого студенты начали записывать собственные подкасты на английском языке, используя аутентичные тексты, которые предлагает тот же образовательный сайт. Такой подход позволяет отслеживать прогресс в говорении и получить портфолио звукозаписей для каждого студента.

Podcasting via mobile phones as a step from passive listening to active speaking

Artyushina G.G., Sheypak O.A.
MAI, Moscow, Russia

Relevance. Information technologies came into use in all spheres of human activity long ago. They also have become an integral part of the educational process and 2020 – 2021 coronary pandemic has only confirmed this fact. Currently there are about 1.5 billion mobile phones in the world. In such environment the rapid progress in information and communication technologies has caused an increase in the popularity of both mobile technologies and mobile devices.

A hypothesis. All our students use different network technologies for communication in everyday life (WhatsApp, Telegram, etc.). In this context, the Department of “Foreign Languages for

Technological Specialties" in MAI has carried out such a network technology search which would be innovative and at the same time interesting for students in foreign language learning. The search and analysis of such technologies has led us to choose podcasting and later on mobile phones to listen to podcasts.

A study. We have chosen podcasting and podcasts as the mobile technology as they have a great educational potential for the development. According to our students' opinion podcasts have seemed to be creative and educational on the one hand, and a really motivating educational tool on the other. They are also a promising technology in foreign language teaching as an Internet resource because they:1) are quickly and regularly updated; 2) can be available at any time with the help of mobile devices; 3)are different in types and forms. While looking into training materials from several Internet resources, we have focused on various topics correlated with the main issues in students' textbooks. Also Internet resources from various educational websites have been analyzed. Since 2012 the authors have gradually introduced podcasting into the process of learning English, and in 2020 the pandemic has accelerated the process greatly. Different questionnaires have confirmed a well known fact that listening and speaking are still most difficult communication competencies for both our bachelors and masters though an average is speaking 30% of the time and listening 45% of the time during communication. Listening is the only type of speech activity where practically nothing depends on a listener. All listening difficulties can be divided into three groups. Among them are: 1) the peculiarities of the listening and speaking abilities of a listener; 2) the peculiarities of the speech of a native speaker; 3) the composition of an audio recording.

Novelty and practical value. Since 2018, our work with podcasts has moved to a new level: a new educational project has been launched and our students have begun to make up and record their own podcasts in English, using authentic texts in the same educational website. Such approach makes it possible to keep track of progress in speaking and get portfolio with audio recordings for each student.

Разработка процесса управления документированными процедурами интегрированных систем менеджмента

Ахрамович А.А., Борисова Е.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Документированная информация интегрированной системы менеджмента (далее – ИСМ) представляет собой комплексную систему документов и записей, используемых для реализации требований сразу нескольких систем менеджмента, требования которых могут как дополнять, так и противоречить друг другу. Процесс управления документацией ИСМ должен быть четко определен и находиться в управляемом состоянии для обеспечения функционирования ИСМ.

На основе опыта внедрения ИСМ на предприятии нами предложен процесс управления документированными процедурами (далее – ДП) ИСМ, состоящий из следующих этапов:

1. Инициирование разработки или актуализации ДП ИСМ.

Разработка/актуализация ДП как таковая требуется в следующих случаях: изменение области деятельности, организационной структуры организации, идентификации новых процессов (изменение схемы взаимодействия процессов), изменение законодательства, наличие ссылочных требований в ранее разработанных ДП т.д.

2. Разработка или актуализация ДП ИСМ.

Данный этап осуществляется ответственными за ДП работниками с учетом требований стандартов, регламентирующих требования к системам менеджмента, входящих в ИСМ. По усмотрению разработчика ДП ИСМ могут подготавливаться презентационные материалы, кратко отражающие их суть (в том числе изменений относительно предыдущих версий).

3. Присвоение номера ДП ИСМ.

Присвоение номера/обозначения ДП осуществляется работником, занимающимся управлением ИСМ. Обычно номер представляет собой буквенно-численное выражение, отражающее принадлежность документа к тому или иному отделу, бизнес-процессу или номеру требования стандарта, регламентирующего требования к системам менеджмента, входящих в ИСМ.

4. Согласование ДП ИСМ.

Настоящий этап осуществляется путем рассмотрения и изменения/дополнения разрабатываемых ДП определенным в организации списком участников согласования. Формирование списка участников согласования ДП осуществляется с учетом матрицы ответственности при разработке, согласовании и утверждении ДП ИСМ.

5. Утверждение и введение в действие ДП ИСМ.

Утверждение и введение в действие ДП ИСМ осуществляется соответствующим приказом директора организации.

6. Ознакомление с ДП ИСМ.

На данном этапе в той или иной форме утвержденная ДП попадает к исполнителям ДП, результаты ознакомления которых фиксируются либо в соответствующем листе ознакомления, либо электронной системе документооборота.

7. Аннулирование ДП ИСМ (отмена действия ДП);

8. Учет, хранение и тиражирование ДП ИСМ.

По результатам внедрения описанного процесса управления ДП ИСМ существенно снизилось количество затрачиваемого времени по работе с ДП, также уменьшилось количество замечаний в рамках требований по управлению ДП на внутренних и внешних проверках.

Development of a process for managing documented procedures of integrated management systems

Akhramovich A.A., Borisova E.V.
MAI, Moscow, Russia

Documented information of an integrated management system (hereinafter referred to as IMS) is a complex system of documents and records used to implement the requirements of several management systems at once, the requirements of which can either complement or contradict each other. The IMS documentation management process should be clearly defined and managed to ensure the functioning of the IMS.

Based on the experience of implementing IMS at an enterprise, we have proposed a process for managing documented procedures (hereinafter referred to as DP) of IMS, consisting of the following stages:

1. Initiation of the development or updating of the DP IMS.

The development/updating of the DP as such is required in the following cases: changing the field of activity, the organizational structure of the organization, identifying new processes (changing the interaction scheme of processes), changing legislation, the presence of reference requirements in previously developed DP, etc.

2. Development or updating of DP IMS.

This stage is carried out by employees responsible for DP, taking into account the requirements of the standards governing the requirements for management systems included in the IMS. At the discretion of the DP IMS developer, presentation materials can be prepared that briefly reflect their essence (including changes in relation to previous versions).

3. Assignment of the number of DP ISM.

Assignment of the number / designation of the DP is carried out by the employee involved in the management of the IMS. Typically, the number is an alphanumeric expression that reflects the document's belonging to a particular department, business process or the number of the requirement of the standard that regulates the requirements for management systems included in the IMS.

4. Coordination of DP IMS.

This stage is carried out by reviewing and changing / supplementing the developed DPs with a list of agreement participants defined in the organization. The formation of the list of participants in the coordination of the DP is carried out taking into account the matrix of responsibility in the development, approval and approval of the DP IMS.

5. Approval and implementation of the DP IMS.

Approval and implementation of the DP IMS is carried out by the relevant order of the director of the organization.

6. Familiarization with DP IMS.

At this stage, in one form or another, the approved DP gets to the executors of the DP, the results of familiarization of which are recorded either in the corresponding familiarization sheet or in the electronic document management system.

7. Cancellation of DP ISM (cancellation of DP);

8. Accounting, storage and replication of DP IMS.

Based on the results of the implementation of the described DP IMS management process, the amount of time spent working with the DP has significantly decreased, and the number of comments within the requirements for managing the DP during internal and external audits has also decreased.

Управление рисками на производственных предприятиях в условиях санкционных ограничений

Барменков Е.Ю., Матюхова А.А., Тришина С.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Современные экономические и политические условия существования производственных предприятий, характеризующиеся высокой турбулентностью внешней среды, возникновением новых рынков и достаточно сложная геополитическая и экономическая ситуация обуславливают возникновение рисков для развития промышленных организаций.

В нынешних условиях актуальна необходимость обнаружения рисков и решения проблемы управления ими. Основными задачами системы риск-менеджмента на предприятиях являются:

• Исследование, оценка и агрегация рисковой нагрузки на разных уровнях предприятия.

• Выбор оптимального уровня риска, применение инструментов управления.

• Перенос остаточных показателей рисковой нагрузки на себестоимость продукта и обеспечение предприятия необходимыми ресурсами для своевременного высвобождения рисков.

В текущей экономической реальности ввиду не останавливающегося влияния значительных внешних “шоков”, приводящих к непрерывным структурным изменениям в общемировой экономике и локально в РФ, в последние годы на передний план выходят внешние риски, которые можно подразделить на следующие группы:

• Экономические: заморозка счетов в иностранных банках, уход иностранных компаний с российского рынка, усложнение международных логистических маршрутов

• Политические: острые межгосударственные конфликты

• Научно-технические: нарушение функционирования глобальных информационных потоков

• Природные: глобальное потепление, природные катастрофы

Внешние механизмы управления рисками предусматривают страхование, состоящее в передаче неконтролируемых рисков от клиента к страховщику. Также для определения и оценки рисков рекомендуется использовать “стресс-тестинг”. Данный инструмент используется для постоянного анализа, обновления сценария и оценки безопасного размера риск-позиций.

Современная международная практика управления внешними рисками в России находится в начальной стадии становления. Такая зависимость выделяет основной принцип риск-менеджмента – управлять нужно природой риска, а не его последствиями. Компаниям следует четко разграничить, какие риски передать страховщику, а какие – предотвратить.

Основой успешного управления рисками является логически выстроенный набор стратегий развития предприятия. Только комплексность в этом процессе приведет к снижению рискозависимости и к рискозащищенности крупных предприятий.

Risk management at manufacturing enterprises under sanctions restrictions

Barmenkov E.Yu., Matyukhova A.A., Trishina S.A.
MAI, Moscow, Russia

Modern economic and political conditions of existence of industrial enterprises, characterized by high turbulence of the external environment, the emergence of new markets and a rather complex geopolitical and economic situation cause the emergence of risks for the development of industrial organizations.

In the current conditions, the need to detect risks and solve the problem of managing them is urgent. The main objectives of the risk management system at enterprises are:

• Research, assessment and aggregation of risk load at different levels of the enterprise.
• Choosing the optimal risk level, using management tools.
• Transfer of residual risk load indicators to the cost of the product and provision of the enterprise with the necessary resources for timely release of risks.

In the current economic reality, due to the ongoing impact of significant external “shocks” leading to continuous structural changes in the global economy and locally in the Russian Federation, in recent years, external risks have come to the fore, which can be divided into the following groups:

• Economic: freezing of accounts in foreign banks, withdrawal of foreign companies from the Russian market, complication of international logistics routes
• Political: acute interstate conflicts
• Scientific and technical: disruption of the functioning of global information flows
• Natural: global warming, natural disasters

External risk management mechanisms provide for insurance consisting in the transfer of uncontrolled risks from the client to the insurer. It is also recommended to use “stress testing” to identify and assess risks. This tool is used for continuous analysis, updating of the scenario and assessment of the safe size of risk positions.

The modern international practice of external risk management in Russia is in the initial stage of formation. This dependence highlights the basic principle of risk management - you need to manage the nature of risk, not its consequences. Companies should clearly distinguish which risks should be transferred to the insurer and which should be prevented.

Развитие взаимодействия промышленных предприятий как работодателей и образовательных учреждений

Басова В.П.
МАИ, г. Москва, Россия

В мировой практике применяются различные модели реализации практико-ориентированных образовательных программ, эффективность которых зависит от направления подготовки. В формировании базовых курсов практико-ориентированных магистерских программ в области технологического предпринимательства, реализуемые в ряде вузов Москвы, Санкт-Петербурга, Томска, использованы западные методологии.

Несмотря на попытки вузов развивать практиков-ориентированный подход в обучении студентов, трудности, связанные с быстрым устареванием и отставанием знаний от настоящего бизнеса, до сих пор остаются. Многие работодатели не ведут переговоры с образованием, не могут сформировать требования к компетенциям выпускника и в принципе не готовы к переходу на более гибкую модель (более тесная работа с вузами). Данные проблемы обусловлены как трудностями, связанными со сложной бюрократией в части оформления юридического взаимодействия вуза и работодателя, так и "усталостью" вуза и работодателя в решении своих повседневных задач, так как информационное поле постоянно меняется, организации тратят огромное количество усилий на соответсвие государственным стандартам и требованиям постоянно меняющегося рынка.

Решение указанных проблем требует регулярного взаимодействия всех заинтересованных сторон. Там, где диалог удается наладить, взаимодействие университетов и работодателей реализуется в следующих формах: участие работодателя в создании образовательных программ; привлечение преподавательского состава и исследователей вузов к работе в бизнес-

среде, а специалистов и менеджеров компаний — к деятельности в условиях вуза, на постоянной или временной основе, а также участие работодателей в итоговой государственной аттестации выпускников; внедрение профессионально-ориентированных технологий обучения; участие в совместных научно-исследовательских работах как среди сотрудников, так и с привлечением студентов в проект; прохождение практик студентов в организациях; взаимодействие работодателя с вузами в части проведения ярмарки вакансий для привлечения студентов к работе у предприятия-партнера;

В завершении необходимо отметить, что перед предприятием и образовательным учреждением стоит множество задач по решению вопроса взаимодействия и создания профессионалов, востребованных на рынке. Базовая кафедра как площадка, на которой готовятся специалисты для конкретной организации, не в полной мере отвечает потребностям предприятия, имеет свои преимущества и недостатки, но, несмотря на это, базовая кафедра — это наиболее эффективный метод для развития специалиста, который после окончания обучения может сразу с меньшим сроком адаптации приступить к работе.

Литература:

1. Басова, В.П., Тихонов, А.И., 2018. Цифровая среда, как инструмент реализации новых подходов в организации целевого обучения для предприятий ракетно-космической промышленности. Московский экономический журнал, 4: 13.

2. Басова, В.П., Цисарский, А.Д 2019. Системный подход к обеспечению предприятий ракетно-космической промышленности высококвалифицированными специалистами. Инновации в менеджменте, 3 (21): 8-13.

3. Басова, В.П., Коновалова, В.Г., 2019. Задачи обеспечения предприятий ракетно-космической промышленности высококвалифицированными специалистами. 18-я международная конференция "Авиация и космонавтика- 2019", Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), pp: 261.

Development of interaction between industrial enterprises as employers and educational institutions

Basova V.P.

MAI, Moscow, Russia

In world practice, various models of implementation of practice-oriented educational programs are used, the effectiveness of which depends on the direction of training. Western methodologies were used in the formation of basic courses of practice-oriented master's programs in the field of technological entrepreneurship, implemented in a number of universities in Moscow, St. Petersburg, Tomsk.

Despite the attempts of universities to develop a practice-oriented approach in teaching students, the difficulties associated with the rapid obsolescence and lagging of knowledge from real business still remain. Many employers do not negotiate with education, cannot form requirements for graduate competencies and, in principle, are not ready to switch to a more flexible model (closer work with universities). These problems are caused both by the difficulties associated with complex bureaucracy in terms of registration of legal interaction between the university and the employer, and by the "fatigue" of the university and the employer in solving their daily tasks, since the information field is constantly changing, organizations spend a huge amount of effort to meet state standards and requirements of an ever-changing market.

The solution of these problems requires regular interaction of all interested parties. Where the dialogue can be established, the interaction of universities and employers is implemented in the following forms: the employer's participation in the creation of educational programs; the involvement of teaching staff and university researchers to work in the business environment, and specialists and managers of companies to work in the conditions of the university, on a permanent or temporary basis, as well as the participation of employers in the final state certification of graduates; introduction of professionally-oriented learning technologies; participation in joint research works both among employees and with the involvement of students in the project; practical training of

students in organizations; interaction of the employer with universities in terms of holding a job fair to attract students to work at a partner enterprise;

In conclusion, it should be noted that the enterprise and the educational institution face many tasks to address the issue of interaction and the creation of professionals in demand in the market. The basic department as a platform where specialists are trained for a specific organization does not fully meet the needs of the enterprise, has its advantages and disadvantages, but despite this, the basic department is the most effective method for the development of a specialist who, after graduation, can immediately start working with a shorter adaptation period.

References:

1. Basova, V.P., Tikhonov, A.I., 2018. Digital environment as a tool for implementing new approaches in the organization of targeted training for enterprises of the rocket and space industry. Moscow Economic Journal, 4:13.

2. Basova, V.P., Tsisarsky, A.D. 2019. A systematic approach to providing rocket and space industry enterprises with highly qualified specialists. Innovations in Management, 3 (21):8-13.

3. Basova, V.P., Konovalova, V.G., 2019. Tasks of providing rocket and space industry enterprises with highly qualified specialists. 18th International Conference "Aviation and Cosmonautics- 2019", Moscow Aviation Institute (National Research University), pp: 261.

Использование результатов нереактивных методов исследования в сети Интернет при организации коммуникативной деятельности авиационных компаний

Бубнов В.В., Дубинина Н.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность исследования. В современных условиях важнейшим направлением осуществления коммуникационной деятельности в рамках организации и проведения бизнес-процессов в сфере пассажирских авиаперевозок является использование локальных и глобальных вычислительных сетей для оптимизации информационного потока, в том числе для взаимодействия с пассажиром.

Планирование, осуществление и контроль коммуникационной деятельности нуждаются в достоверной информации. Для ее получения могут использоваться данные, предоставляемые глобальной сетью интернет.

Важнейшим адресатом коммуникаций авиакомпаний является пассажир. Интернет позволяет получать данные для изучения реальных и потенциальных авиапассажиров с помощью нереактивных методов исследования, представляющих собой внешние, невключенные наблюдения для нахождения цифровых следов пользователя услуг авиакомпании (cookie, геоданных и иных меток поведенческой активности авиапассажиров).

Цель исследования. Определение путей получения данных о поведении клиентов на основе нереактивных методов исследования и возможностей использования этой информации при разработке программ коммуникативной деятельности авиаперевозчиков.

Исследование проводилось на основе анализа механизма получения больших данных (Big Data) о пользователях сети интернет.

Интернет-ресурсы представляют регулярно обновляемую информацию о поведении потенциальных клиентов и их интересах. Например, анализ частоты поисковых запросов авиакомпаний, выполненных определенным сегментом пользователей, их внимание к страницам пассажирских авиаперевозчиков в социальных сетях позволит выявить наиболее вероятных конкурентов. Авиакомпания через изучение предложений конкурентов, анализ ожиданий клиентов, может при необходимости уточнить свое позиционирование и механизм продвижения на рынок. Подобную информацию можно получить на специализированных платформах, примером которой является Яндекс Метрика.

Информация об интересах существующих и потенциальных авиапассажиров, полученная путем использования нереактивных методов изучения их активности в социальных медиа, позволит повысить эффективность размещения рекламы, осветить интересующие клиентов темы на страницах в социальных медиа, сохраняя присутствие авиакомпании в

информационном поле пользователей ее услуг, и повысит узнаваемость фирмы, создавая образ надежного предприятия.

Вывод. На основе проведённых исследований нами изучены основные направления получения данных о клиенте и его поведении на основе нереактивных методов исследования, которые заключаются в отслеживании следов его поведения в сети интернет, что позволяет создать портрет потребителя: определить круг его интересов, доходы и пр.

Возможными способами использования этой информации при разработке программ коммуникативной деятельности авиаперевозчиков является адаптация рекламных и PR-текстов под интересы пассажира и выработка стратегии их размещения в медиапространстве.

Use of Results of Nonreactive Research Methods on Internet to Organise Communications Activity of Aviation Companies

Bubnov V.V., Dubinina N.M.
MAI, Moscow, Russia

Rationale for Research. In the current context, the primary focus of communications activity aimed at organising and conducting business processes related to passenger air travel is the use of local and global computer networks to optimise the information flow.

For communications activity to be planned, conducted and monitored, reliable data is required and one of the data sources is the global network Internet.

The most important addressee of airline communications is the passenger. The Internet allows you to obtain data for the study of real and potential air passengers using non-reactive research methods, which are external, unconnected observations for finding digital traces of the user of airline services (cookies, geodata and other tags of the behavioral activity of air passengers).

Research Aim: Determination of ways to obtain data on customer behaviour based on non-reactive research methods and the possibilities of using this information in the development of programs for the communicative activities of air carriers.

The study was conducted based on the analysis of the mechanism for obtaining big data about Internet users.

Online resources provide regularly updated information about the behavior of potential customers and their interests. For example, an analysis of the frequency of airline search queries performed by a certain segment of users, their attention to the pages of passenger carriers in social networks will help identify the most likely competitors. The airline, through the study of competitors' offers, the analysis of customer expectations, can, if necessary, clarify its positioning and the mechanism of promotion to the market. Detailed information can be obtained on specialized platforms, an example of which is Yandex. Metrica.

The information about the interests of the existing and potential airline passengers obtained through nonreactive methods of studying their activities in social media will help to make placement of advertisements more effective, to cover the topics clients are interested in on social media pages, while keeping the company present in the information field of its service users, and improve the recognition of the firm by creating an image of a reliable business.

Conclusion. Based on the conducted research, we have studied the main directions of obtaining data about the client and his behavior based on non-reactive research methods, which consist in tracking traces of his behavior on the Internet, which allows us to create a portrait of the consumer: to determine the range of his interests, income, etc.

Possible ways to use this information in the development of programs for the communicative activities of air carriers is to adapt advertising and PR texts to the interests of the passenger and develop a strategy for their placement in the media space.

Кумулятивный эффект от внедрения цифровых технологий

Бурдин С.С., Бурдина А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Изучены особенности цифровой трансформации на высокотехнологичных предприятиях как процесса внедрения организацией цифровых технологий, сопровождаемый оптимизацией

системы управления основными технологическими процессами с целью ускорения продаж, роста бизнеса, увеличения эффективности деятельности. Обосновано, что при цифровой трансформации в компаниях и в экономики в целом появляется кумулятивный эффект по направлениям:

• Снижении издержек это группа трансакционных факторов повышения эффективности функционирования экономики предприятия;

• Обеспечение более быстрого и легкого доступа к информации, повышение точности информации это есть информационные факторы повышения эффективности экономики;

• Появление бизнес-моделей управления с расширенными организационными возможностями, это можно назвать как трансформационные факторы повышения эффективности экономики;

• Повышение качества стратегического планирования, за счет более содержательной информации (стратегические факторы);

• Расширение возможностей вследствие появления цифровой инфраструктуры.

Реализация проектов цифровой трансформации должна обеспечивать эффективное управление по следующим направлениям: люди и компетенции, процессы и их оптимизация, данные и модели, инфраструктура и сервисы, продукты и проекты, организационная культура и принципы взаимодействия.

На основании анализа факторов разработана технология цифровой трансформации компаний и выделены особенности проявления эффекта от различных факторов цифровой трансформации. Предложена методика оценки эффективности цифровой трансформации компаний на основе анализа кумулятивного эффекта с помощью сбалансированой системы показателей и стоимости компании.

Литература:

1. Введение в «Цифровую» экономику/ А.В. Кешелава В.Г. Буданов, В.Ю. Румянцев и др.; под общ. ред. А.В. Кешелава; гл. «цифр.» конс. И.А. Зимненко. – ВНИИГеосистем, 2017. – 28 с. (На пороге «цифрового будущего». Книга первая).

2. Бухт Р., Хикс Р. (2018) Определение, концепция и измерение цифровой экономики // Вестник международных организаций. Т. 13. № 2. С. 143–172 (на русском и английском языках). DOI: 10.17323/1996-7845-2018-02-07.

Cumulative effect of the introduction of digital technologies

Burdin S.S., Burdina A.A.

MAI, Moscow, Russia

The features of digital transformation at high-tech enterprises as a process of introduction of digital technologies by an organization, accompanied by optimization of the management system of the main technological processes in order to accelerate sales, business growth, and increase efficiency, are studied. It is proved that with digital transformation in companies and in the economy as a whole, a cumulative effect appears in the following directions:

• Cost reduction is a group of transactional factors to increase the efficiency of the functioning of the enterprise economy;

• Providing faster and easier access to information, improving the accuracy of information these are information factors to increase the efficiency of the economy;

• The emergence of business models of management with expanded organizational capabilities, it can be called as transformational factors to increase the efficiency of the economy;

• Improving the quality of strategic planning, due to more meaningful information (strategic factors);

• Expansion of opportunities due to the emergence of digital infrastructure.

The implementation of digital transformation projects should ensure effective management in the following areas: people and competencies, processes and their optimization, data and models, infrastructure and services, products and projects, organizational culture and principles of interaction.

Based on the analysis of factors, the technology of digital transformation of companies has been developed and the peculiarities of the manifestation of the effect of various factors of digital

transformation have been highlighted. A methodology for evaluating the effectiveness of digital transformation of companies based on the analysis of the cumulative effect using a balanced system of indicators and the value of the company is proposed.

References:

1. Introduction to the "Digital" economy / A.V. Keshelava V.G. Budanov, V.Y. Rumyantsev et al.; under the general editorship of A.V. Keshelava; chapter "figures." cons. I.A. Zimnenko. – VNIIgeosystem, 2017. – 28 p. (On the threshold of the "digital future". Book one).

2. Bukht R., Hicks R. (2018) Definition, concept and measurement of the digital economy // Bulletin of International Organizations. Vol. 13. No. 2. pp. 143-172 (in Russian and English). DOI: 10.17323/1996-7845-2018-02-07.

Личностное становление студента как гражданина страны в языковой подготовке технического вуза

Варламова Е.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

Вопрос личностного становления студента как гражданина своей страны приобретает актуальность в связи с усиливающимся стремлением молодого поколения к проявлению своей гражданственности (что подтверждается результатами анкетирования 30 студентов технических направлений подготовки МАИ) и недостаточной разработанностью научных положений, касающейся профессионального воспитания студентов.

Цель исследования – определение способов и специфики реализации образовательного содержания авиационной направленности в языковой подготовке студентов как граждан своей страны в техническом вузе.

Предметом выступает становление лингвокультурной личности студента с осознанной гражданской позицией.

Теоретико-методологической основой исследования выступают научные исследования, посвященные теории межкультурной коммуникации (С.Г. Тер-Минасова [3], Ф. Тромпенаарс и Ч. Хэмпден-Тернер, Э. Холл, Г. Хофстеде, др.), профессионально направленной языковой подготовке студентов (Е.В. Воевода [1], Т.А. Дмитренко, Е.Н. Малюга, др.), содержанию и особенностям технологий профессионального образования (Л.В. Мардахаев [2], Г.К. Селевко, др.).

С учетом сложившихся подходов к лингвокультурной личности нами сформулировано понятие «лингвокультурная личность с осознанной гражданской позицией». Такая личность характеризуется: 1) сформированной иноязычной лингвокультурной профессиональной компетентностью; 2) способностью проявлять свою индивидуальность – гражданскую позицию в профессиональной деятельности.

Решению задач образовательного влияния на становление такой личности в техническом вузе способствует реализация авторской технологии профессиональной языковой подготовки студентов (ПЯПС) в поликультурной среде вуза. Особенностями её реализации определены:

- Направленность на формирование профессиональной компетентности и гражданское становление личности;
- Реализуемость в группах с углублённой языковой подготовкой;
- Взаимосвязь этнокультурного и национального аспектов: учет этнокультурных особенностей студентов для усиления осознанности их гражданской позиции.

Вывод. Качественная языковая подготовка, предусматривающая воздействие на профессиональное и личностное становление, осуществляется последовательно, с учетом реалий среды технического вуза и этнокультурных особенностей студента как гражданина своей страны.

Литература:

1. Воевода Е.В. Профессиональная подготовка студентов международного профиля к межкультурной коммуникации: лингвосоциокультурные и психологические аспекты. Монография. – М.: Перспектива. – 2019. – 198 с.

2. Мардахаев Л.В. Основы социально-педагогической технологии: Учебное пособие. – М.: Перспектива. – 2011. – 89 с.
3. Тер-Минасова С.Г. Язык и межкультурная коммуникация. – М.: Слово, 2000. – 262 с.

Personal development of student as Russian citizen in foreign-language teaching at technical university

Varlamova E.Y.
MAI, Moscow, Russia

The issue of the personal development of a student as a citizen of own country strengthens its urgency due to the growing desire of the younger generation to show their citizenship. This fact has been confirmed by the results of a survey of 30 respondents who are students of the MAI) and admitted insufficient development of the scientific area of the students' professional up-bringing.

The purpose of the study is revealing the ways and specifics of the aviation industry educational content, used in the foreign-language teaching of students as citizens of their country at a technical university.

The subject is personal language-and-culture development of a student, who is aware of the civic participation.

The research is based on the theoretical and methodological researches, in terms of intercultural communication (S.G. Ter-Minasova [3], F. Trompenaars and C. Hampden-Turner, E. Hall, G. Hofstede, oth.), professional foreign-language preparation of students (E.V. Voevoda [1], T.A. Dmitrenko, E.N. Malyuga, oth.), the content and features of educational technologies (L.V. Mardakhaev [2], G.K. Selevko, oth.).

Taking into account approaches to the term of the language-and-culture personality, we have defined the concept of "language-and-culture personality possessing a sense of civic citizenship". Such the personality possesses the following features: 1) the developed language-and-culture professional competence; 2) the ability to show their individuality which related to the citizenship in professional activities.

The possible solution of the problems of educational influence on students' personalities at a technical university supposes teaching on the basis of the author's technology of professional foreign-language training in the multicultural university environment. The features of the used technology are the following:

• Focus on professional competence and individual civic development;
• Involvement of student groups, taught intensively;
• The relationship of ethno-cultural and national aspects. This feature implies taking into account the ethnic and cultural characteristics of students to enhance awareness of their citizenship.

We have concluded that high-leveled foreign-language teaching, with its impact on professional and personal development, should carried out consistently, taking into consideration the real situation, the environment of a technical university, the ethnic and cultural features of a student, who acts as a citizen of Russia.

References:

1. Voevoda E.V. Professional training of international students for intercultural communication: linguo-socio-cultural and psychological aspects. Monograph. – M.: Perspective. - 2019. - 198 p.
2. Mardakhaev L.V. Fundamentals of socio-pedagogical technology: Textbook. – M.: Perspective. - 2011. - 89 p.
3. Ter-Minasova S.G. Language and Intercultural Communication. - M.: Word, 2000. - 262 p.

Формирование навыков адекватного перевода аэрокосмической терминологии в разноуровневом обучении студентов

Власова С.В., Кокутина А.С.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность данной работы обусловлена прикладной задачей модернизации педагогических подходов обучения иностранному языку специальности (ИЯС) и переводу

узкоспециальной аэрокосмической терминологии (УАТ) студентов МАИ разных направлений обучения (инженеры, лингвисты, PR-технологи) и разного уровня владения ИЯ.

Новизна исследования представлена апробацией обновленного дидактического материала по УАТ, собранного авторами для дополнительной аргументации гипотезы.

Гипотеза работы заключается в идее о повышении эффективности формирования иноязычной компетенции на базе вариативных дидактических подходов.

Цель исследования состоит в анализе продуктивности модернизированного авторами учебного материала.

Теоретической базой исследования являются труды ученых А.В. Фёдорова,

Я.И. Рецкера, Р.О. Якобсона, И.Я. Лернера.

Обучение адекватному переводу УАТ авторы базируют на следующих принципах:

1. Различное лексическое наполнение заданий.

Студентам проектно-конструкторских кафедр предлагается насыщенный УАТ словарь специальности: stoichiometric mixture ratio; double slotted flap mechanism; burning monomethylhydrazine; hydraulically powered spoilers. Однако программистам или лингвистам дается «облегченный» вариант: flap, spoiler, fuel-air mixture.

2. Вариативность обучения студентов разного уровня владения ИЯ.

При изучении темы «Среднемагистральные самолеты» студентам с уровнем А2 владения ИЯ предлагаются адаптированные тексты, тогда как уровень В2 позволяют изучать видеоматериалы с быстрой сменой информации. Однако, в обоих случаях, обучение УАТ ведется с опорой на коммуникативно-полноценный перевод. К примеру, glass cockpit – кабина с экранной индикацией; HUD – индикатор на лобовом стекле.

3. Приемы обучения студентов различных кафедр.

Лингвисты быстрее включаются в коллективно-групповое обучение, а инженеры предпочитают работать индивидуально. Студенты технических кафедр готовы изучать однотипную УАТ, соблюдая единство терминологии. Но PR-технологи, переводчики наращивают словарь УАТ через коммуникативные методы обучения.

4. Актуальность дидактического материала.

Анализируя современные задачи в области освоения космоса, авторы обновили материалы для студентов Аэрокосмического института по темам Angara-1.2 universal rocket module; Luna 25 (Luna-Glob lander); Orel crew module; cyber security in space.

Модернизируя дидактический материал, преподаватель и сам должен пополнять знания УАТ.

Выводы.

1. Обучение студентов адекватному переводу УАТ возможно в контексте профессионально-направленного использования языковых и речевых средств на базе специально отобранного учебного материала, требующего постоянной модернизации в зависимости от уровня владения ИЯ и от специализации.

2. Важнейшую роль в выборе материала играют актуальность и воспитательный эффект.

Библиография

1. Логвинов И.И. Дидактика: история и современные проблемы. – М.: БИНОМ. - 2015. - 205 с.

2. Леднев В.С. Научное образование: развитие способностей к научному творчеству. – М.: МГАУ, 2002. – 117 с.

3. Литвинова М.Ю. Современные тенденции в организации обучения иноязычной речевой деятельности студентов технического вуза. URL: https://gpa.cfuv.ru/attachments/article/5155/.pdf (Дата обращения: 23.09.2022)

4. Основные понятия переводоведения (Отечественный опыт). М., 2010. – 260 с.

5. Шалыт И.С. Методическое и справочное руководство по переводу на русский язык инженерно-технической документации. ИНТЕНТ, 2007. – 61 с.

Formation of adequate translation aerospace terminology skills while teaching multi-level students

Vlasova S.V., Kokutina A.S.
MAI, Moscow, Russia

The relevance of this work is due to the applied task of modernizing pedagogical approaches to teaching a foreign language specialty (FLS) and the translation of highly specialized aerospace terminology (HSAT) of MAI students of different fields of study (engineers, linguists, PR technologists) and different levels of proficiency in FLS.

The novelty of the study is represented by the approbation of the updated didactic material on HSAT, collected by the authors for additional argumentation of the hypothesis.

The hypothesis of the work is the idea of increasing the effectiveness of the formation of foreign language competence basing on variable didactic approaches.

The purpose of the study is to analyze the productivity of the educational material modernized by the authors.

The theoretical basis of the research is the works of scientists A.V. Fedorov, J.I. Retsker, R.O. Jacobson, I.J. Lerner.

The authors base the training in adequate translation of HSAT on the following principles:

1. Different lexical content of tasks.

Students of design departments are offered a rich HSAT vocabulary: stoichiometric mixture ratio; double slotted flap mechanism; burning monomethylhydrazine; hydraulically powered spoilers. However, programmers or linguists are given a "lightweight" option: flap, spoiler, fuel-air mixture.

2. The variability of teaching students of different levels of proficiency.

Students with the A2 proficiency level are offered adapted texts, while the B2 level allows them to study video materials with a quick change of information. However, in both cases, HSAT translation training is communicatively full-fledged: glass cockpit, HUD.

3. Methods of teaching students of various departments.

Linguists are more quickly involved in collective and group training, and engineers prefer to work individually. Students of technical departments are ready to study the same type of UAT, observing the unity of terminology. But PR-technologists, translators are increasing the vocabulary of HSAT through communicative teaching methods.

4. Relevance of didactic material.

Analyzing the current challenges of space exploration, the authors updated materials for students of the Aerospace Institute on the topics of Angara-1.2 universal rocket module; Luna 25 (Luna-Glob lander); Orel crew module; cyber security in space. By modernizing the didactic material, the teacher himself must replenish the knowledge of the HSAT.

Conclusions.

1. Teaching students adequate translation of HSAT is possible in the context of professionally-directed use of language and speech means on the basis of specially selected educational material that requires constant modernization depending on the level of proficiency and specialization.

2. Relevance and educational effect play an important role in the choice of material.

References

1. Logvinov I.I. Didactics: history and modern problems. – M.: BINOM. - 2015. - 205 p.

2. Lednev V.S. Scientific education: the development of abilities for scientific creativity. – M.: MGAU, 2002. – 117 p.

3. Litvinova M.Yu. Modern trends in the organization of teaching foreign language speech activity to students of a technical university. URL: https://gpa.cfuv.ru/attachments/article/5155/.pdf (Accessed: 09/23/2022)

4. Basic concepts of translation studies (Domestic experience). M., 2010. – 260 p.

5. Shalyt I.S. Methodological and reference guide for the translation of engineering and technical documentation into Russian. INTENT, 2007. – 61 p.

Интеграция принятия управленческих решений и системы менеджмента качества в цифровой среде на предприятиях авиационно-космической отрасли

Волошин А.И., Борисова Е.В., Козырева У.Р.
МАИ, г. Москва, Россия

На сегодняшний день важной задачей на предприятиях авиационно-космической отрасли является внедрение эффективной системы менеджмента качества (СМК). Что можно понимать под эффективным внедрением системы? «Имеющаяся СМК может считаться эффективной в данный период, если результаты от ее внедрения и работы, которые можно проследить через мониторинг и улучшение показателей, превосходят настолько затраты на ее поддержание, насколько вы считаете правильным для своего бизнеса, отрасли, своей стратегии развития». Эффективность по ГОСТ Р ИСО 9000-2015, это – соотношение между достигнутым результатом и использованными ресурсами. Реализация цикла «Планируй-Делай-Проверяй-Действуй» (PDCA) осуществляется на предприятиях долго и неэффективно из-за отсутствия связующего звена, которое в настоящее время осуществляется в аналоговом режиме (принести документ, подписать документ, назначить задачу при личной встрече). Принятие ключевых решений сказывается на результате работы предприятия, выражающемся по итогу увеличением времени изготовления продукции и предоставления услуг.

Это не единственная проблема. Вызовы внешней среды, тренды или необходимость цифровизации – в российских реалиях эти факторы становятся дополнительными проблемами. Как же обеспечить интеграцию традиционной СМК в цифровую среду предприятия и обеспечить эффективное принятие управленческих решений? О решении этой проблемы и пойдет речь. Для стабильного функционирования СМК и принятия управленческих решений на предприятиях авиационно-космической отрасли предлагается разработать и внедрить «Модуль качества», который позволит оперативно взаимодействовать работникам с высшим руководством.

Модуль – функционально законченный фрагмент программы, оформленный в виде отдельного файла с исходным кодом или поименованной непрерывной её части, предназначенный для использования в других программах. Модуль позволяет разбить сложные задачи на более мелкие в соответствии с принципом модульности. Модуль сможет решать комплекс задач на уровне каждого рабочего звена:

- Расширить информационную базу предприятия;
- Предоставить оперативный доступ работнику ко всей информации предприятия, за исключением конфиденциальной;
- Обеспечить электронный документооборот и ведения деловой и конфиденциальной переписки между отделами и предприятиями;
- Дистанционно вносить верифицированные данные в базу данных и настраивать доступ к ним.

Механизм работы модуля заключается в обеспечении стабильных показателей результативности сотрудников из-за своевременного и ускоренного нахождения актуальной версии необходимого документа, верификации процессов и задач, протекающих на предприятии, находящихся в системе и оперативного взаимодействия между работниками и высшим руководством, посредством прямого контакта. Хочется отметить, что решающее действие все равно остается за исполнителем. При помощи модуля автоматизируется и аккумулируется работа сотрудников предприятия, что поможет сократить время на определенные виды деятельности.

Следующими шагами развития модуля могут быть: создание платформы, позволяющей вносить данные аудиторских проверок и проводить мониторинг корректирующих мероприятий; применение электронной подписи; формирование унифицированной системы трансграничных электронных межкорпоративных документов.

Integration of management decision-making and quality management systems in the digital environment at the enterprises of the aerospace industry

Voloshin A.I., Borisova E.V., Kozyreva U.R.
MAI, Moscow, Russia

To date, an important task at the enterprises of the aerospace industry is the introduction of an effective quality management system (QMS). What can be understood by effective implementation of the system? "The existing QMS can be considered effective in this period if the results of its implementation and work, which can be traced through monitoring and improvement of indicators, exceed the costs of maintaining it as much as you think is right for your business, industry, your development strategy." Efficiency according to GOST R ISO 9000, this is the ratio between the achieved result and the resources used. The implementation of the "Plan-Do-Check-Act" (PDCA) cycle is carried out at enterprises for a long time and inefficiently due to the lack of a link, which is currently carried out in analog mode (bring a document, sign a document, assign a task in person). The adoption of key decisions affects the result of the company's work, expressed as a result by an increase in the time of production and provision of services.

This is not the only problem. Challenges of the external environment, trends or the need for digitalization – in Russian realities, these factors become additional problems. How to ensure the integration of the traditional QMS into the digital environment of the enterprise and ensure effective management decision-making? The solution to this problem will be discussed. For the stable functioning of the QMS and management decision-making at the enterprises of the aerospace industry, it is proposed to develop and implement a "Quality Module" that will allow employees to interact quickly with senior management.

A module is a functionally complete fragment of a program, designed as a separate file with the source code or a named continuous part of it, intended for use in other programs. The module allows you to break complex tasks into smaller ones in accordance with the principle of modularity. The module will be able to solve a set of tasks at the level of each working link:

• Expand the information base of the enterprise;

• Provide an employee with prompt access to all company information, except confidential;

• Provide electronic document management and business and confidential correspondence between departments and enterprises;

• Remotely enter verified data into the database and configure access to them.

The mechanism of the module is to ensure stable performance indicators of employees due to timely and accelerated finding of the current version of the required document, verification of processes and tasks occurring in the enterprise, located in the system and operational interaction between employees and senior management, through direct contact. I would like to note that the decisive action still remains with the performer. With the help of the module, the work of the company's employees is automated and accumulated, which will help reduce the time for certain types of activities.

The next steps in the development of the module can be: the creation of a platform that allows you to enter audit data and monitor corrective measures; the use of an electronic signature; the formation of a unified system of cross-border electronic intercorporate documents.

Экономические стимулы внедрения на предприятиях аэрокосмической отрасли требований ГОСТ Р ИСО 45001-2020

Галкина Е.Е., Сорокин А.Е., Дайнов М.И., Ковтун М.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Производственный травматизм и профессиональная заболеваемость наносят значительный урон мировой экономике и экономике отдельных государств. В мире из-за производственного травматизма и профессиональной заболеваемости ежедневно погибают 7 600 человек. В России в 2020 году произошло 20 500 несчастных случаев на производстве, в том числе: 1 216 случаев со смертельным исходом (наибольший процент несчастных случаев фиксируется в обрабатывающей промышленности).

Международной организацией по стандартизации, для помощи предприятиям в организации работы по охране труда, разработан стандарт ISO 45001:2018, устанавливающий подходы к планированию работ, обучению персонала, проверке эффективности работы системы и др. В России в 2020 году был принят аутентичный стандарт ГОСТ Р ИСО 45001-2020, но российские предприятия неохотно внедряют требования этого стандарта в практику работы. В то же время, Россия несет большие экономические потери из-за неудовлетворительных условий труда и высокого уровня производственного травматизма и профессиональной заболеваемости. В 2020 году потери государства, вызванные этими причинами, составили около 1,77 трлн. рублей. При этом было недопроизведено продукции, по причинам льготного сокращения рабочего дня и дополнительного отпуска, на сумму 0,55% ВВП. Потери фонда рабочего времени в связи с производственным травматизмом и предоставлением компенсаций за работу во вредных условиях составили 139,7 млн. человеко-дней. Наибольшие потери рабочего времени вызваны производственным травматизмом – 47,3%, (потери в связи с дополнительным отпуском – 44,7%, с сокращенным рабочим днем составляют 8%). Проведение работ по сокращению производственного травматизма позволит предприятиям снизить непроизводительные расходы, увеличить фонд рабочего времени и выработку продукции, повысить ее качество, что позволит увеличить объем реализации продукции предприятий авиакосмической отрасли.

Литература:

1. Galkina E. E., Sorokin A. E., Golovanova T. V., Improving Management Efficiency at Aerospace Enterprises, Russian Engineering Research, 2021, Vol. 41, No. 12, pp. 1206–1208, DOI: 10.3103/S1068798X21120157.

2. Elena E. Galkina, Andrey E. Sorokin, Alexander O. Shemyakov, Sergey V. Novikov Environmental management system as a way of reducing the probability of technogenic accidents and environmental pollution at the airspace companies / Amazonia investiga, 2019, Vol. 8, No. 23, C. 178-184.

3. А. Е. Сорокин, О. А. Афонина, Е. Е. Галкина, И. Е. Кириченко, Н. С. Чудакова Обоснование необходимости внедрения систем экологического менеджмента в практику работы российских авиационных предприятий / Инновации и инвестиции, № 12, 2018 г., С. 105-109.

4. А. Е. Сорокин, Е. Е. Галкина, М. И. Дайнов Информационное обеспечение управления в системе экологического менеджмента / Качество и жизнь, 2021, №1, С. 20-24.

5. А. Е. Сорокин, Е. Е. Галкина, М. И. Дайнов, А. В. Гончарова, В. А. Десна Проблемы внедрения систем экологического менеджмента на предприятиях авиакосмического комплекса / Качество и жизнь, 2021, № 4, С. 22-26, DOI: 10.34214/2312-5209-2021-32-4-22-26.

Economic incentives for the introduction of the requirements of GOST R ISO 45001-2020 at the enterprises of the aerospace industry

Galkina E.E., Sorokin A.E., Dainov M.I., Kovtun M.A.
MAI, Moscow, Russia

Occupational injuries and occupational morbidity cause significant damage to the global economy and the economy of individual States. In the world, 7,600 people die every day due to occupational injuries and occupational morbidity. In Russia, 20,500 industrial accidents occurred in 2020, including: 1,216 fatal accidents (the largest percentage of accidents is recorded in the manufacturing industry).

The International Organization for Standardization, to assist enterprises in organizing work on labor protection, has developed the ISO 45001:2018 standard, which establishes approaches to work planning, personnel training, checking the effectiveness of the system, etc. In Russia, the authentic GOST R ISO 45001-2020 standard was adopted in 2020, but Russian enterprises are reluctant to implement the requirements of this standard into practice. At the same time, Russia is suffering great economic losses due to unsatisfactory working conditions and a high level of occupational injuries and occupational morbidity. In 2020, the losses of the state caused by these reasons amounted to about 1.77 trillion. rubles'. At the same time, products were under-produced, for reasons of

preferential reduction of the working day and additional leave, in the amount of 0.55% of GDP. The losses of the working time fund due to industrial injuries and the provision of compensation for work in harmful conditions amounted to 139.7 million man-days. The greatest losses of working time are caused by industrial injuries – 47.3%, (losses due to additional leave – 44.7%, with a reduced working day are 8%). Carrying out work to reduce occupational injuries will allow enterprises to reduce unproductive expenses, increase the working time fund and production, improve its quality, which will increase the volume of sales of products of aerospace enterprises.

References:

1. Galkina E. E., Sorokin A. E., Golovanova T. V., Improving Management Efficiency at Aerospace Enterprises, Russian Engineering Research, 2021, Vol. 41, No. 12, pp. 1206–1208, DOI: 10.3103/S1068798X21120157.

2. Elena E. Galkina, Andrey E. Sorokin, Alexander O. Shemyakov, Sergey V. Novikov Environmental management system as a way of reducing the probability of technogenic accidents and environmental pollution at the airspace companies / Amazonia investiga, 2019, Vol. 8, No. 23, pp. 178-184.

3. A. E. Sorokin, O. A. Afonina, E. E. Galkina, I. E. Kirichenko, N. S. Chudakova Justification of the need to introduce environmental management systems into the practice of Russian aviation enterprises / Innovations and Investments, No. 12, 2018, pp. 105-109.

4. A. E. Sorokin, E. E. Galkina, M. I. Dainov Information support of management in the environmental management system / Quality and Life, 2021, No. 1, pp. 20-24.

5. A. E. Sorokin, E. E. Galkina, M. I. Dainov, A.V. Goncharova, V. A. Desna Problems of implementation of environmental management systems on enterprises of the aerospace complex / Quality and Life, 2021, No. 4, pp. 22-26, DOI: 10.34214/2312-5209-2021-32-4-22-26.

Управление качеством информационно-технологических сервисов авиационного предприятия

Гришаева С.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Авиационная отрасль традиционно является одной из самых высокотехнологичных. Несмотря на то, что пандемия 2020 года привела к сокращению бюджетов многих компаний, цифровая трансформация авиационной отрасли в настоящее идёт время ускоренными темпами. В этой связи становится актуальной задача контроля качества ИТ-сервисов, востребованных в ходе применения цифровых технологий в авиации и авиационной промышленности. Это такие решения как электронный документооборот, электронная отчётность, облачные технологии для хранения и передачи данных, сопровождение автоматизированных информационных систем, цифровизация математических моделей и многие другие.

Менеджмент предприятий авиационной отрасли охватывает ряд аспектов, которые необходимо контролировать в отношении ИТ-сервисов, чтобы гарантировать качество функционирования сложных технических систем данных предприятий. Это такие данные, как инциденты, запросы на обслуживание, результаты обслуживания в соответствии с установленными требованиями, потребность в обслуживании, эффективное использование программных и аппаратных мощностей. Другие аспекты, которые следует контролировать, включают показатели эффективности менеджмента на высоком уровне – достижение целей развития авиационного предприятия за счёт применения информационных технологий, обратную связь от потребителей и других заинтересованных сторон в рамках ИТ-сервисов, статус соответствия применимым требованиям. Особое внимание следует уделить срокам и частоте мониторинга и измерений, поскольку функционирование большинства ИТ-сервисов нелинейное, могут быть взлеты и падения, периоды высокого спроса сменяются периодами затишья. Это зависит от различных факторов, таких как тип ИТ-сервисов, сезонность, исключительные обстоятельства или другие внешние и внутренние факторы. Предприятию авиационной отрасли важно получать точные и достоверные данные, которые помогут выявить возможные отклонения в качестве ИТ-сервисов и принять правильные

управленческие решения. Записи мониторинга и измерений должны сохраняться, чтобы обеспечить прослеживаемость, например, в виде отчетов, которые можно анализировать, делать выводы и давать рекомендации по улучшению.

Литература:

1. ИСО/МЭК 20000-1:2018, Информационные технологии. Менеджмент услуг. Часть 1. Требования к системе менеджмента услуг.

2. Методы цифровой трансформации систем менеджмента, Александров М.Н., Александрова С.В., Васильев В.А., Материалы международной конференции 2021 IEEE «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS). 2021г. - сс.7-10

3. Методы менеджмента качества инновационных процессов. Васильев В.А., Одиноков С.А., Борисова Е.В., Летучев Г.М. Материалы международной конференции 2016 IEEE «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS). 2016 г., - сс. 233-235.

Quality control of information technology services of an aviation enterprise

Grishaeva S.A.

MAI, Moscow, Russia

The aviation industry is traditionally one of the most high-tech. Despite the fact that the 2020 pandemic has led to budget cuts for many companies, the digital transformation of the aviation industry is now proceeding at an accelerated pace. In this regard, the task of quality control of IT services that are in demand during the application of digital technologies in aviation and the aviation industry becomes relevant. These are solutions such as electronic document management, electronic reporting, cloud technologies for storing and transmitting data, maintenance of automated information systems, implementation of mathematical models, and many others.

The management of aviation enterprises covers a number of aspects that need to be controlled in relation to IT services in order to ensure the quality of the functioning of the complex technical systems of enterprise data. These are data such as incidents, service requests, results of service in accordance with established requirements, the need for service, the effective use of software and hardware capacities. Other aspects that should be monitored on higher-level management include achievement of aviation enterprise development goals through the use of information technology, feedback from customers and other stakeholders within IT services, compliance status with applicable requirements. Particular attention should be paid to the timing and frequency of monitoring and measurement, since the functioning of most IT services is non-linear, there can be ups and downs, periods of high demand are replaced by periods of calm. This depends on various factors such as the type of IT services, seasonality, exceptional circumstances, or other external and internal factors. It is important for the aviation industry to receive accurate and reliable data that will help identify possible deviations in the quality of IT services and make the right management decisions. Records of monitoring and measurements should be kept to ensure traceability, for example in the form of reports that can be analyzed, conclusions drawn and recommendations made for improvement.

References:

1. ISO/IEC 20000-1:2018 Information technology - Service management - Part 1: Service management system requirements.

2. Methods of Digital Transformation of Management Systems, Alexandrov M.N., Aleksandrova S.V., Vasiliev V.A., Proceedings of the 2021 IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS). 2021. - pp.7-10

3. Methods of quality management of innovation process. Vasiliev V.A., Odinokov S.A., Borisova E.V., Letuchev G.M. Proceedings of the 2016 IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS). 2016. - pp. 233-235.

Оценка технико-экономической эффективности научно-практических подходов и реализаций моделей управления жизненным циклом систем авиационной техники

Гусев С.А., Горелов Б.А., Калошина М.Н., Дианова Е.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Технико-экономическое обоснование (ТЭО), в том числе при создании, эксплуатации и дальнейшем развитии авиационной техники (АТ), разрабатывается в соответствии с различными формами, требования к которым сформированы: организацией по промышленному развитию при ООН ЮНИДО – «Руководство по подготовке промышленных технико-экономических исследований»; методикой, разработанной в рамках программы «Технического содействия» ТАСИС; методикой, предложенной Европейским банком реконструкции и развития, которая представляет собой упрощённый вариант ТЭО; британской аудиторско-консалтинговой компанией Ernst&Young; стандартами KPMG - одной из крупнейших в мире сетей, оказывающих профессиональные услуги, в том числе аудиторские с привлечением компаний Deloitte, PwC и другими; российскими принципами, изложенными в «Методических рекомендациях по оценке эффективности инвестиционных проектов».

Для оценки технико-экономической эффективности научно-практических подходов и реализаций моделей управления жизненным циклом систем АТ предлагается применять:

• Концепции помодульного распределенного, унитарного и смешанного развития и, на их основе, системоэкономической концепции создания, эксплуатации и развития технических авиационных систем

• Имитационное и ассоциативное моделирование финансово-экономических показателей управления жизненным циклом систем АТ, в том числе в зависимости от тактико-технических показателей технической системы

• Удельных показателей, которые определяются на основе целевых ориентиров Программы развития авиационной отрасли с дифференциацией по подотраслям, с учетом прогнозов Миниэконом развития по темпам роста и инфляции в промышленности

• Определение затрат на инновационные проекты и эффективности их реализации с учетом стадии жизненного цикла, что предполагает использование одновременно различных Методических рекомендаций на оценку стоимости работ на соответствующих стадиях исследования и разработки, создания опытного образца, серийного производств, эксплуатации.

Комплексное совершенствование стандарта технико-экономического обоснования и его отдельных разделов направлено на адаптацию общих существующих подходов к решению инновационных проектных задач создания авиационной техники.

Доклад подготовлен при финансовой поддержке РФФИ. Проект 20-010-00428.

Evaluation of the technical and economic effectiveness of scientific and practical approaches and implementations of life cycle management models of aviation technic systems

Gusev S.A., Gorelov B.A., Kaloshina M.N., Dianova E.V.
MAI, Moscow, Russia

The feasibility study (FS), including during the creation, operation and further development of aviation technic (AT), is developed in accordance with various forms, the requirements for which are formed by: the Organization for Industrial Development at the UN UNIDO – "Guidelines for the preparation of industrial feasibility studies"; methodology developed in the framework of the TACIS "Technical Assistance" program; the methodology proposed by the European Bank for Reconstruction and Development, which is a simplified version of the feasibility study; the British audit and consulting company Ernst &Young; KPMG standards - one of the world's largest networks providing professional services, including auditing with the involvement of Deloitte, PwC and others; Russian the principles set out in the "Methodological recommendations for evaluating the effectiveness of investment projects".

To assess the technical and economic effectiveness of scientific and practical approaches and implementations of the life cycle management models of AT systems, it is proposed to use:

• The concept of modular distributed, unitary and mixed development and, based on them, the system-economic concept of the creation, operation and development of technical aviation systems

• Simulation and associative modeling of financial and economic indicators of the life cycle management of AT systems, including depending on the tactical and technical indicators of the technical system

• Specific indicators, which are determined on the basis of the target targets of the Aviation Industry Development Program with differentiation by sub-industries, taking into account the forecasts of the Ministry of Economic Development for growth rates and inflation in industry

• Determination of costs for innovative projects and effectiveness of their implementation taking into account the stage of the life cycle, which involves the use of various Methodological Recommendations at the same time to assess the cost of work at the appropriate stages of research and development, the creation of a prototype, serial production, operation.

The comprehensive improvement of the feasibility study standard and its individual sections is aimed at adapting common existing approaches to solving innovative design tasks of creating aviation technik.

The report was prepared with the financial support of the Russian Federal Property Fund (RFPF). Project 20-010-00428.3

Модели управления жизненным циклом помодульно распределенных систем авиационной техники

[1]Давыдов А.Д., [1]Горелов Б.А., [2]Тихонов А.В.
[1]МАИ, [2]ВНИИРТ, г. Москва, Россия

Моделированию создания и развития систем машин и формированию различных стратегий их развития уделяется значительное внимание. Потребности разрабатывающих и эксплуатирующих организаций и внешних рынков характеризуются растущим разнообразием требований, что обуславливает рост технотипов систем авиационной техники (АТ) и размерности параметрических рядов подсистем.

В проекте каф.505 по данному направлению показано, что создание систем АТ и управление их жизненным циклом, как помодульно распределенных (в пространстве и времени) систем, позволяет формировать требуемый облик по спросу при различных экономических, технических, временных ограничениях. Также имеется возможность обеспечить конкурентные преимущества такой технике и оперативно демпфировать угрозы внешней среды, например, экономические санкции.

Подход к управлению жизненным циклом систем АТ как систем помодульно распределенных, позволяет синхронизировать объективно существующие различия в темпах инновационного развития в отраслях промышленности. Выявлена возможность создавать новые системы АТ в сжатые сроки, более эффективно, в том числе управлением через аритмичное внедрение научно-технических заделов в состав и структуру систем АТ.

Также в задачах управления проектами представлены новые способы оценки направлений повышения экономической эффективности проектов, оптимизации технических, экономических и временных параметров объектов, что позволяет повысить точность планирования основных технико-экономических показателей проектов на ранних этапах разработки, сформировать критерии оценки эффективности проектов с учетом инновационного, инвестиционного, интеллектуального и информационного потенциала предприятий.

Системоэкономическое проектирование, разработка, производство и эксплуатация систем АТ на принципах модульной и смешанной стратегии развития находит лишь частичную реализацию, различное понимание и способы применения на предприятиях ОАК, ОДК, Ростеха. Апробация и внедрение результатов проекта может стать значимым направлением улучшения в управлении жизненным циклом систем АТ в современных условиях внедрения передовых цифровых, интеллектуальных производственных технологий, роботизированных систем, новых материалов и способов конструирования.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ. Проект № 20-010-00428.

The management models for life cycle of modular distributed aircraft and aviation systems

[1]Davidov A.D., [1]Gorelov B.A., [2]Tikhonov A.V.
[1]MAI, [2]VNIIRT, Moskow, Russia

Considerable attention is paid to modeling the creation and development of machine systems and the formation of various strategies for their development. The demands of developing and operating organizations and foreign markets are characterized by a growing variety of requirements. As a result, it causes the growth of technotypes of aviation equipment systems (AT) and the dimension of parametric series of subsystems.

The project of the department 505 MAI considers the creation of AT systems and the management of their life cycle as modularly distributed (in space and time) systems. The studied approach allows you to form the required appearance on demand under various economic, technical, and time constraints. It is also possible to provide competitive advantages to such equipment and promptly dampen threats to the external environment, for example, economic sanctions.

This approach to the management of the life cycle of AT systems allows you to synchronize objectively existing differences in the pace of innovative development in industries. The possibility of creating new AT systems in a short time, more efficiently, including management through the arrhythmic introduction of scientific and technical reserves into the composition and structure of the systems, has been revealed. The project management tasks present new ways to assess the directions of increasing the economic efficiency of projects, optimizing the technical, economic and time parameters of objects to improve the accuracy of planning the main technical and economic indicators of projects at the early stages of development, forming criteria for evaluating the effectiveness of projects taking into account the innovative, investment, intellectual and information potential of enterprises.

System-economic design, development, production and operation of AT systems based on the principles of modular and mixed development strategy finds only partial implementation, different understanding and ways of application at enterprises.

Approbation and implementation of the project results can become a significant direction of improvement in the management of the life cycle of AT systems in modern conditions of the introduction of advanced digital, intelligent manufacturing technologies, robotic systems, new materials and design methods.

Thanks. The work was carried out with the financial support of the RFBR. Project No. 20-010-00428.

Структурно-семантические особенности авиационно-космической терминосистемы в современном английском языке

Денисова О.И.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность данной работы заключается в том, что она посвящена исследованию недостаточно изученных структурных и семантических особенностей авиационно-космической терминосистемы в современном английском языке.

Объектом исследования является англоязычная терминосистема лексических единиц и фразеоматических комплексов в сфере авиации и космонавтики – всего 1168 терминов. Источниками выборки послужила специальная научно-техническая литература данной тематики, современные лексикографические издания, в том числе электронные версии словарей Мультитран [12], ABBYY Lingvo [13], а также специализированные компьютерные сайты.

Практическое ценность работы заключается в выявлении особенностей функционирования авиационно-космических терминов в научно-техническом англоязычном тексте и составлении рекомендаций для их включения в англо-русский авиационно-космический словарь.

Обзор. С точки зрения образования авиационно-космические термины обладают отличительными особенностями, характерными для всей англоязычной научно-технической терминологии [Г.М. Стрелковский, Л.К. Латышев, Л.Ф. Парпаров, О.И. Денисова и др.].

Исследование. Словосложение является одним из самых продуктивных словообразовательных процессов в современном английском языке

Большая часть авиационно-космических терминов представляет собой сложные слова, образованные из двух основ.

Двухкомпонентная модель являются наиболее частотной при образовании сложных терминов авиационно-космической терминосистемы.

Менее продуктивной является трехкомпонентная словообразовательная модель

Четырехкомпонентная модель выявляется реже всего при образовании сложных терминов авиационно-космической сферы.

Было установлено, что большинство двухкомпонентных терминов авиационно-космической терминосистемы образованы по типу определительного сложения основ.

Выводы: в результате рассмотрения структуры сложных авиационно-космических терминов было выявлено, что терминологические единицы могут состоять из компонентов, принадлежащих к различным частям речи и их образование осуществляется как по продуктивным, так и непродуктивным моделям в рамках основных процессов терминообразования в современном английском языке.

Литература:

1. Гринев С.В. Введение в терминоведение. - М.: Московский лицей, 1993. - 309 с.

2. Татаринов В.А. Теория терминоведения: В 3-х т. -М.: Московский лицей, 1996. - Т. 1 - 311 с.

3. Ткачева Л.Б. Основные закономерности английской терминологии. Томск, 1987. – 197 с.

4. http://multitran.ru.

5. http://slovari.yandex.ru.

Structural-semantic features of space-aviation terminology in Modern English

Denisova O.I.

MAI, Moscow, Russia

Relevance of this work can be explained by the fact that it treats structural and semantic characteristics of space-aviation professional terminology in Modern English.

Subject of the investigation – 1168 terms, to be more precise, lexical units and word combinations in the sphere of aviation and space comprising the appropriate term system of the English language.

The sample resources were specific technical and scientific publications of this subject area, modern lexicographical issuances including electronic versions of the dictionaries Multitran and ABBY Lingvo and specialized websites.

Practical significance of this work lays in revealing of peculiar functioning properties of aviation and space terminology in English technical-scientific texts and compiling guidelines for their incorporation into the electronic English-Russian aviation and space terminology dictionary.

Review. From the point of view of term-building professional aviation and space terms are characterized by distinctive features peculiar for the English conventional scientific and technical terminology (G.M.Strelkovsky, L.K.Latyshev,L.F.Parparov, O.I.Denisova and others).

Research. Wordbuilding is one of the formation processes in Modern English. The majority of aviation and space terms are formed of two stems. The two-stem pattern is mostly used in termbuilding of the English aviation and space termsystem. The three-stem pattern is less productive. It was revealed that the four-stem pattern was not practically used in termbuilding of the aviation and space sphere.

It was specified that most two-stem terms of the aviation and space termsystem were formed on the basis of attributive wordbuilding.

Conclusions. As a result of the structural analyses of multi-stem aviation and space terms was stated that terms can be composed of components pertaining to various parts of speech and their

formation is performed on the basis of productive as well as nonproductive patterns within the framework of fundamental termbuilding processes in Modern English.

References:

1. Grinev S.V. Introduction into termlearning. M.: Moscow lyceum. 1993.- 309 p.
2. Tatarinov V.A. Theory of termlearning: in three volumes. – M.Moscow lyceum. 1996. – v.1 – 311 p.
3. Tkacheva L.B. Fundamental regularities of English terminology. – Tomsk, 1987. – 197 p.
4. http://multitran.ru.
5. http://slovari.yandex.ru.

Основные направления коммуникационного обеспечения инновационных проектов в организациях авиационной сферы

Дубинина Н.М., Бубнов В.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность. Возрастание роли обмена информацией при реализации инновационных проектов, представляющих собой комплекс действий по разработке и внедрению технологических новшеств, подчеркивают значимость исследования.

Цель исследования: изучить возможности применения глобальных и локальных цифровых платформ в процессе коммуникативного обеспечения подготовки и реализации инновационных проектов в авиационной сфере.

Исследование проводилось на основе анализа работы технологической авиационной платформы ACARE (Консультационного совета по исследованиям в области аэронавтики в Европе), опыта коммуникативного обеспечения деятельности в сети интернет ЕКА (Европейского космического агентства), российской технологической платформы «Авиационная мобильность и авиационные технологии».

В ходе исследования было установлено, что для привлечения внимания заинтересованных сторон информация о планируемых инновационных проектах размещается на глобальных технологических платформах.

Для решения задач оперативной передачи информации при осуществлении инновационной деятельности в организациях авиационной сферы используются не только глобальные, но и локальные платформы, которые позволяют соединять участников инновационного процесса в единое пространство, обеспечивая необходимый уровень конфиденциальности. В рамках локального подключения пользователи имеют возможность оперативно находить информацию, решать вопросы управления проектами, совмещая поиск формализованной информации и неформального обмена мнениями.

Сведения на локальной платформе об инновационном проекте группируются по разделам. Первый раздел – «портфель» (содержит программы, управление которыми осуществляется комплексно для ускорения достижения стратегических целей). Второй раздел – «программа» (объединяет проекты, совместное выполнение которых повышает вероятность получения положительного синергетического эффекта). Третий раздел – «проекты» (содержит информацию об узких направлениях деятельности в рамках инновационного проекта в авиационной сфере). Передаваемая информация в рамках этих разделов является примером формальной коммуникации.

Примером соединения формальных и неформальных коммуникаций может служить быть обмен и обсуждение предъявляемых к проекту требований от заинтересованных сторон, ожидаемые технико-экономические показатели от реализации проекта. Это позволит сбалансировать интересы всех контактных аудиторий, заинтересованных в реализации инновационного проекта.

Вывод. Использование глобальных платформ в коммуникативном обеспечении инновационной деятельности в авиационной сфере позволяет широко информировать общественность об основных направлениях развития отрасли, привлекать исполнителей и инвесторов для реализации заявленных проектов. Локальные платформы позволяют систематизировать информацию об инновационной деятельности как через формальные

коммуникации, так и обеспечить неформальный обмен мнениями всех участников технологического проекта с соблюдением необходимого уровня конфиденциальности.

Major Lines of Communications Support for Innovative Projects in Aviation-Related Organisations

Dubinina N.M., Bubnov V.V.
MAI, Moscow, Russia

Rationale. The increasing role of information exchange in the implementation of innovative projects, which represent a set of actions for the development and implementation of technological innovations, emphasize the importance of the study.

Research Aim: to explore the possibilities of using global and local digital platforms in the process of communication support for the preparation and implementation of innovative projects in the aviation sector.

The study was conducted on the basis of an analysis of the work of the technological aviation platform ACARE (Advisory Council for Research in the Field of Aeronautics in Europe), the experience of communication support for activities on the Internet of ESA (European Space Agency), the Russian technology platform "Aviation Mobility and Aviation Technologies".

In the course of the study, it was found that in order to attract the attention of interested parties, information about planned innovative projects is placed on global technology platforms.

To solve the problems of rapid information transfer in the implementation of innovative activities in aviation organizations, not only global, but also local platforms are used, which allow connecting participants in the innovation process into a single space, providing the necessary level of confidentiality. As part of the local connection, users have the opportunity to quickly find information, solve project management issues, combining the search for formalized information and informal exchange of opinions.

Conclusion. The use of global platforms in the communication support of innovative activities in the aviation sector makes it possible to widely inform the public about the main directions of the industry's development, to attract performers and investors to implement the announced projects. Local platforms make it possible to systematize information about innovation activities both through formal communications and to provide an informal exchange of opinions of all participants in a technological project with the necessary level of confidentiality.

Подход к управлению попаданием контрафактной/фальсифицированной продукции

Дяконенко Е.В., Борисова Е.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Предприятия, чья область деятельности так или иначе относится к гражданской или военной авиации, проходят процедуру сертификации продукции (услуг) для завоевания больших объемов сбыта на отечественных или зарубежных рынках. К примеру, для получения сертификатов соответствия EN 9100:2018 и/или ГОСТ РВ 0015-002-2020, предприятия, как правило, сначала разрабатывают систему менеджмента качества на основе ISO 9001:2015, а далее, при необходимости, система дорабатывается с учетом дополнительных требований аэрокосмического и/или военного стандартов, таких как управление попаданием контрафактной/фальсифицированной продукции [1].

Исходя из анализа действующей нормативно-технической документации можно сделать вывод, что на сегодняшний день существует небольшая серия национальных стандартов «Система защиты от фальсификаций и контрафакта», которая не в полной мере описывает последовательность действий предприятий при выявлении и избежания контрафакта, и всего одна нормативная база для мониторинга летной годности и оценки аутентичности компонентов, что не может являться допустимым в динамически развивающемся государстве.

Для помощи таким предприятиям не только в прохождении сертификации, но и в реальном управлении недопущения контрафакта и фальсификата, предполагается к разработке алгоритм, который будет включать в себя упрощенный для понимания предприятий порядок действий «до», «во время» и «после» обнаружения неаутентичной продукции (деталей, узлов

и т.д.), последовательно описывая требования и рекомендации к их документированию в стандартах предприятия [2]. Также к предполагаемому алгоритму будет разработана методика нанесения уникальных цифровых номеров – идентификаторов (в соответствии с ГОСТ Р 58636, т.к. он предписывает обязательную документацию событий, составляющих цепочку жизненного цикла изделий, включая всех посредников вплоть до конечного продавца и эксплуатирующей компании[3]), которые в последствии будут отцифровываться в единую базу авиационных комплектующих.

Совокупность алгоритма действий, методики прослеживаемости и единой цифровой базы комплектующих упростят как прохождение процедуры сертификации, так и работу предприятий в целом.

1. AS/EN 9100:2018 «Системы менеджмента качества. Требования к авиационным, космическим и оборонным организациям». М.: Круг-консалтинг, 2016.

2. Погребняк С. И. Предотвращение использования контрафактной продукции (частей). Методические рекомендации по разработке документированной процедуры. М.: Круг-консалтинг, 2019.

3. ГОСТ Р 58636 -2019 «Система защиты от фальсификаций и контрафакта. Прослеживаемость оборота продукции. Общие требования». М: Стандартинформ, 2019.

Approach to managing the ingress of counterfeit/falsified products

Dyakonenko E.V., Borisova E.V.

MAI, Moscow, Russia

Enterprises whose field of activity in one way or another relates to civil or military aviation undergo a certification procedure for products (services) in order to gain large sales volumes in domestic or foreign markets. For example, to obtain certificates of compliance with EN 9100:2018 and/or GOST RV 0015-002-2020, enterprises, as a rule, first develop a quality management system based on ISO 9001:2015, and then, if necessary, the system is refined taking into account additional requirements of aerospace and/or military standards, such as the management of counterfeit/falsified products [1].

Based on the analysis of the current regulatory and technical documentation, it can be concluded that today there is a small series of national standards "System of protection against fraud and counterfeit", which does not fully describe the sequence of actions of enterprises in identifying and avoiding counterfeit, and only one regulatory framework for monitoring airworthiness and assessing the authenticity of components, which it cannot be permissible in a dynamically developing state.

To help such enterprises not only pass certification, but also in the real management of preventing counterfeit and falsification, it is planned to develop an algorithm that will include a simplified procedure for understanding enterprises "before", "during" and "after" the detection of inauthentic products (parts, assemblies, etc.), sequentially describing the requirements and recommendations for their documentation in the standards of the enterprise [2]. Also, a technique for applying unique digital identifier numbers will be developed for the proposed algorithm (in accordance with GOST R 58636, since it prescribes mandatory documentation of events that make up the product life cycle chain, including all intermediaries up to the end seller and the operating company [3]), which will later be digitized into a single database of aviation components.

The combination of the algorithm of actions, traceability methods and a single digital database of components will simplify both the certification procedure and the work of enterprises as a whole.

1. AS/EN 9100:2018 "Quality management systems. Requirements for aviation, space and defense organizations". M.: Krug-consulting, 2016.

2. Pogrebnyak S. I. Prevention of the use of counterfeit products (parts). Methodological recommendations for the development of a documented procedure. Moscow: Krug-consulting, 2019.

3. GOST R 58636 -2019 "System of protection against fraud and counterfeit. Traceability of product turnover. General requirements". Moscow: Standartinform, 2019.

Повышение качества инновационного менеджмента на основе патентной аналитики

Загидуллин Р.С., Родионов Н.В.
Самарский университет, г. Самара, Россия

Патентная аналитика в Российской Федерации приобретает широкую популярность среди высокотехнологичных компаний. При этом высокотехнологичные компании могут сформировать информационные сборники об анализе развития перспективных инновационных разработок. Сборник включает в себя оценку текущего и прогнозного состояния конкурентоспособности инноваций (уровень новизны, технико-экономической полезности и другое).

Необходимо отметить, что в рамках международных стандартов в области инновационного менеджмента ISO 56 000 высокотехнологичные компании должны стремиться к непрерывному улучшению качества инновационной деятельности. Например, улучшение качества управления идеями, управление партнерами, участвующих в инновационной деятельности компаний, улучшение методов и инструментариев по управлению инновациями, улучшение оценки качества инновационной деятельности компаний [1].

Результаты патентной аналитики помогает высокотехнологичным компаниям определить наиболее приоритетные инновационные проекты с точки зрения выбора стратегического ориентира на инновационный рынок продуктов и услуг. Однако существуют проблемы, которые характерны процессам патентной аналитики:

1) Невозможность получения информации об инновациях, охраняемых в режиме «ноу-хау»;

2) Трудность в получении отчетной корпоративной информации о технико-экономической информации (технических характеристиках, экономической выгоды от использования инновации, информации о экономических показателях компании, улучшаемых при использовании инновации).

Существование вышеуказанных проблем снижает эффективность инновационной деятельности в компаниях при построении стратегий инновационного развития и при формировании отчетов о конкурентоспособности создания и реализации планируемых к созданию инноваций.

Перспективы использования результатов патентной аналитики в высокотехнологичных компаниях характеризуются формированием инновационной политики развития инновационной деятельности, а также составлением патентной стратегии, включающую целевые показатели конкурентоспособности планируемых к созданию инноваций, а также информацию об увеличении использования собственных инноваций сторонними организациями посредством лицензирования или продажи инноваций [2].

Стоит отметить, что патентная аналитика в Российской Федерации может реализовываться специалистами служб инновационного управления в компаниях наряду со специалистами Роспатента. Эффективность проведения патентной аналитики выражается в использовании нового инструментария в части поиска, систематизации, обработки и составлении информации о текущем и прогнозном состоянии конкурентоспособности инноваций [3]. Консолидация выполнения требований стандартов ISO 56 000 и использования результатов патентной аналитики способствует повышению качеству инновационной деятельности компаний.

Литература:

1. ГОСТ Р 56273.4-2016/CEN/TS 16555-4:2014 Инновационный менеджмент. Часть 4. Управление интеллектуальной собственностью. М.: Стандартинформ, 2017. 25 с.

2. Фатхутдинов Р.А. Инновационный менеджмент: учебник для вузов. 6-е изд. СПб.: Питер, 2011. 448 с.

3. Родионов Н.В., Загидуллин Р.С., Филиппова Т.С. Повышение качества стимулирования инновационной активности на промышленном предприятии / Известия тульского государственного университета. Технические науки. 2022. №2. С. 598-603. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-2-598-603.

Improving the quality of innovation management based on patent analytics

Zagidullin R.S., Rodionov N.V.
Samara University, Samara, Russia

Patent analytics in the Russian Federation is gaining wide popularity among high-tech companies. At the same time, high-tech companies can form information collections on the analysis of the development of promising innovative developments. The collection includes an assessment of the current and forecast state of the competitiveness of innovations (the level of novelty, technical and economic usefulness, etc.).

It should be noted that within the framework of international standards in the field of innovation management ISO 56 000, high-tech companies should strive to continuously improve the quality of innovation. For example, improving the quality of idea management, managing partners involved in the innovative activities of companies, improving the methods and tools for managing innovations, improving the assessment of the quality of innovative activities of companies [1].

The results of patent analytics help high-tech companies to determine the most priority innovative projects in terms of choosing a strategic benchmark for the innovative market of products and services. However, there are problems that are characteristic of patent analytics processes:

1) The impossibility of obtaining information about innovations protected in the "know-how" mode;

2) Difficulty in obtaining reporting corporate information on technical and economic information (technical characteristics, economic benefits from the use of innovation, information about the company's economic performance improved by using innovation).

The existence of the above problems reduces the effectiveness of innovative activity in companies when building strategies for innovative development and when generating reports on the competitiveness of creating and implementing innovations planned to be created.

The prospects for using the results of patent analytics in high-tech companies are characterized by the formation of an innovation policy for the development of innovation activity, as well as the preparation of a patent strategy that includes target indicators of the competitiveness of innovations planned to be created, as well as information on increasing the use of own innovations by third-party organizations through licensing or selling innovations [2].

It should be noted that patent analytics in the Russian Federation can be implemented by specialists of innovation management services in companies along with specialists from Rospatent. The effectiveness of patent analytics is expressed in the use of new tools in terms of searching, systematizing, processing and compiling information about the current and forecast state of the competitiveness of innovations [3]. Consolidation of compliance with the requirements of ISO 56 000 standards and the use of the results of patent analytics contributes to improving the quality of companies' innovative activities.

References:

1. CEN/TS 16555-4:2014 «Innovation management — Part 4: Intellectual property management».

2. Fatkhutdinov R.A. Innovation management: a textbook for universities. 6th ed. St. Petersburg: Piter, 2011. 448 p.

3. Rodionov N.V., Zagidullin R.S., Filippova T.S. Improving the quality of stimulating innovation activity at an industrial enterprise / News of the Tula State University. Technical science. 2022. №2. pp. 598-603. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-2-598-603.

Проблемы ценообразования на предприятиях высокотехнологичных отраслей промышленности

Захарова Л.Ф., Бодров Н.М., Глинкин Г.В., Черницын А.Е.
МАИ, г. Москва, Россия

Цена в рыночной экономике является важнейшим фактором повышения эффективности производства. Как экономическая категория цена связана с фундаментальным понятием стоимости товара и является предметом научных дискуссий. В своём практическом применении цена призвана реализовывать ряд важнейших функций: учётно-измерительную, стимулирующую, балансирующую и др., зависит от множества условий внешнего и

внутреннего характера и является многофакторной и многофункциональной величиной, объединяющей в себе всё многообразие процессов по созданию стоимости товара. Задачи ценообразования тем сложнее, чем сложнее выпускаемая продукция и сопутствующие условия.

Практика успешного ведения бизнеса выделяет ряд этапов коммерческого ценообразования [3], которые стали на сегодня классикой теории этого вопроса. Однако, реализация создания и функционирования механизма ценообразования на отечественных предприятиях имеют множество недостатков, что особенно актуально для предприятий высокотехнологичных отраслей промышленности (ВТОП), наукоемкая продукция которых подлежит непрерывному обновлению.

Основными проблемами ценообразования на предприятиях ВТОП являются:

• Отсутствие стратегических планов развития, базовых целей и стратегий ценообразования на каждом из сегментов перспективных рынков сбыта (маркетинговый аспект ценообразования);

• Отсутствие систем управления затратами по всей цепочке создания стоимости изделия;

• Отсутствие отраслевых методик определения трудоёмкости продукции;

• Отсутствие единого методического инструментария и механизма ценообразования.

В работе предлагается концептуальный облик механизма ценообразования на предприятиях ВТОП, учитывающий передовой опыт отечественных и зарубежных предприятий в этой области.

Литература:

1. Налоговый кодекс Российской Федерации (часть первая) от 31.07.1998 N 146-ФЗ (ред. от 28.06.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 23.09.2022).

2. Постановление Правительства РФ от 2 декабря 2017 г. N 1465 "О государственном регулировании цен на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу, а также о внесении изменений и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации" с дополнениями от 21 мая 2022 г.

3. Бакулина А.А., Топчий П.П. Построение модели ценообразования на продукцию ОПК с применением математических методов// Имущественные отношения в РФ. -2017.-№9. С.74-79.

4. Болычева В.В. Проблемы ценообразования на продукцию ОПК в рамках ГОЗ//Молодой ученый. – 2021.-№ 45 (387). -С.147-149.

5. Тарасова Д.Д., Подоляк О.О. Анализ проблем, возникающих при формировании цены на ГОЗ предприятия НПОА имени академика Н.А. Семихатова // Экономика и менеджмент инновационных технологий. 2020. № 1 [Электронный ресурс]. URL: https://ekonomika.snauka.ru/2020/01/16956 (дата обращения: 12.09.2022).

Problems of pricing at enterprises of high-tech industries

Zakharova L.F., Bodrov N.M., Glinkin G.V., Chernitsyn A.E.
MAI, Moscow, Russia

Price in a market economy is the most important factor in increasing production efficiency. As an economic category, price is related to the fundamental concept of the value of goods and is the subject of scientific discussions. In its practical application, the price is designed to implement a number of important functions: accounting and measuring, stimulating, balancing, etc., depends on a variety of external and internal conditions and is a multifactorial and multifunctional quantity that combines all the variety of processes for creating the value of goods. The more difficult the pricing tasks are, the more complex the products and related conditions.

The practice of successful business highlights a number of stages of commercial pricing [3], which have become classics of the theory of this issue today. However, the implementation of the creation and functioning of the pricing mechanism at domestic enterprises have many disadvantages, which is especially important for enterprises of high-tech industries (WTP), whose high-tech products are subject to continuous updating.

The main problems of pricing at the enterprises of the WTO are:

• Lack of strategic development plans, basic goals and pricing strategies in each of the segments of promising sales markets (marketing aspect of pricing);
• Lack of cost management systems across the entire product value chain;
• Lack of industry-specific methods for determining the labor intensity of products;
• Lack of a single methodological toolkit and pricing mechanism.

The paper proposes a conceptual image of the pricing mechanism at the enterprises of the WTO, taking into account the best practices of domestic and foreign enterprises in this area.

References:

1. The Tax Code of the Russian Federation (Part one) of 31.07.1998 N 146-FZ (ed. of 28.06.2022) (with amendments and additions, intro. effective from 09/23/2022)

2. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1465 of December 2, 2017 "On State Regulation of Prices for Products Supplied under the State Defense Order, as well as on Amendments and Invalidation of Certain Acts of the Government of the Russian Federation" with additions dated May 21, 2022.

3. Bakulina A.A., Topchiy P.P. Building a pricing model for defense industry products using mathematical methods// Property relations in the Russian Federation. -2017.-No.9. pp.74-79.

4. Bolycheva V.V. Problems of pricing for defense industry products within the framework of the State Budget//A young scientist. – 2021.-№ 45 (387). - Pp.147-149.

5. Tarasova D.D., Podolyak O.O. Analysis of the problems arising in the formation of prices for the state-owned enterprise NPOA named after academician N.A. Semikhatov // Economics and management of innovative technologies. 2020. No. 1 [Electronic resource]. URL: https://ekonomika.snauka.ru/2020/01/16956(accessed: 12.09.2022).

Использование социальных сетей при формировании и поддержании лояльности пассажиров авиационных компаний (на примере «S7 Airlines» и «Аэрофлот»)

Иванова А.М., Бубнов В.В., Дубинина Н.М.
МАИ, г. Москва, Россия

В авиационной отрасли наблюдается олигопольная конкуренция, что приводит к необходимости формирования групп лояльных клиентов, готовых пользоваться услугами авиакомпании. Необходимость коммуникативного обеспечения взаимодействия с пассажирами как элемента бизнес-процесса подчеркивает актуальность исследования.

Коммуникативная политика авиакомпании по созданию и поддержанию лояльности пассажиров есть система прямых и опосредованных способов передачи информации, направленная на формирование доброжелательного отношения клиентов к перевозчику.

Социальные сети – объедение людей на электронных платформах, где они получают и обсуждают интересующую их информацию. По данным ВЦИОМ, более двух часов в день в соцсетях проводят 54% россиян (см.: https://ria.ru/20210923/sotsseti-1751422419.html (дата обращения 09.10.2022).

Цель исследования. Изучить коммуникации организации в соцсетях как элемент политики формирования лояльности.

Для достижения поставленной цели нами было предпринято медиаисследование социальных сетей, проведен эксперимент по оценке реактивной коммуникативной деятельности авиационных предприятий.

Авиакомпании начинают осуществлять коммуникативную политику по формированию лояльности клиентов в соцсетях до очного знакомства пассажиров с фирмой, размещая ссылки на страницы своих компаний, публикуя яркие фото и видео, иные материалы в лентах соцсетей. Например, подобные коммуникативные технологии используют авиакомпании «Аэрофлот», «S7 Airlines» в таких социальных сетях, как в VK и Одноклассники.

В отличие от «Аэрофлота» у «S7 Airlines» наполнение и оформление ленты на Дзен больше отличается от других соцсетей. «S7 Airlines» поддерживает инновационные проекты, размещая информацию на «ЯRUS».

В своей коммуникативной политике авиакомпании разрабатывают механизмы поддержания лояльности имеющихся пассажиров. В соцсетях таким механизмом является диалог клиента

с представителем фирмы. «S7 Airlines», «Аэрофлот» в VK не только указывали номер клиентского центра фирмы (у «S7 Airlines» размещен удачнее), но создали чаты для общения с клиентами, где заявлено время для ответа на запрос – 15 минут. «Аэрофлот» (в отличие от «S7 Airlines») не укладывается в самостоятельно установленный норматив.

Авиакомпании «Аэрофлот» и «S7 Airlines» имеют ленты новостей и на канале Telegram. «S7 Airlines» выстраивает автоматическую коммуникацию «пассажир – бот», у «Аэрофлота» подобные работающие технологии в Telegram не обнаружены.

Вывод. Коммуникации в соцсетях быстро меняются, лидеры пассажирского авиарынка РФ пользуются их возможностями для создания и поддержания лояльности имеющихся и потенциальных клиентов.

Use of Social Networking Services to Build and Maintain Loyalty of Airline Passengers (as Illustrated by S7 Airlines and Aeroflot)

Ivanova A.M., Bubnov V.V., Dubinina N.M.
MAI, Moscow, Russia

Oligopolistic competition is observable in the aviation industry, which necessitates forming groups of loyal clients ready to use the airline's services. The need for communications support for this element of the business process underscores the rationale for the research.

An airline's communications policy pursued to build and maintain passengers' loyalty is a system of direct and indirect methods of information transfer aimed at creating a benevolent attitude on the part of clients to the carrier.

Social networking services (SNS) are communities of people on online platforms where they get and discuss information of interest to them. The Russian Public Opinion Research Centre has found that 54 per cent of Russians spend more than two hours a day on SNS (see https://ria.ru/20210923/sotsseti-1751422419.html (accessed date: 09.10.2022)).

Research Aim: To study the SNS communications of an organisation as an element of its loyalty-building policy.

To achieve this goal, we undertook a media study of Social networking services, conducted an experiment to evaluate the reactive communicative activity of aviation enterprises.

Airlines begin to pursue their communications policy aimed at building clients' loyalty on social media before passengers get to know the company personally. Airlines post the links to their pages, colourful pictures and videos and other content in SNS newsfeeds. For example, such communications technologies are used by Aeroflot and S7 Airlines on VK and Odnoklassniki.

The Yandex Zen page of S7 Airlines differs more in terms of content and design from other SNS than that of Aeroflot. S7 supports innovative projects by posting on YARUS.

As part of an airline's communications policy, mechanisms are developed to maintain the existing passengers' loyalty. SNS offer such a mechanism as a dialogue between a client and the company's employee. S7 Airlines and Aeroflot not only posted the phone number of their customer service centre on VK (S7 placed it better) but also created chats to communicate with clients where the declared response time is 15 minutes. Aeroflot (unlike S7) does not manage to stay within the time limit it set itself.

Aeroflot and S7 have newsfeeds on Telegram. S7 arranges automated communication "passenger–bot", while we have not found similar operational technologies in Aeroflot's channel.

Conclusion. SNS communications are changing fast and the leaders of the Russian passenger aviation market use their features to build and maintain the loyalty of the existing and potential clients.

Актуальные вопросы целевой подготовки кадров в системе СПО для предприятий аэрокосмического комплекса

Каршанов И.Ф., Дикова Ф.А.
УГАТУ, г. Уфа, Россия

Изменения в процессе подготовки современных кадров направлены на соответствие требованиям регионального рынка труда в условиях инновационного развития. Одной из

важнейших задач является прогнозирование потребностей и обеспечение кадрами предприятий аэрокосмического комплекса экономики региона.

В связи с этим в авиационном техникуме УГАТУ ведется работа над моделью подготовки кадров, обладающих достаточным уровнем компетенций, способных быстро адаптироваться к постоянно меняющимся условиям современных требований. Модернизируются образовательные программы, совместно с индустриальными партнерами развиваются практикоориентированность и индивидуальная подготовка студентов.

Уделяется внимание программам дополнительного профессионального образования, нацеленным и на повышение квалификации работающих специалистов, и на приобретение перспективных компетенций студентами. Профильные предприятия могут более активно участвовать в образовательном процессе благодаря открытию сети мастерских среднего профессионального образования по приоритетным для Республики Башкортостан компетенциям в направлении «Промышленные и инженерные технологии», что стало возможным благодаря гранту федерального национального проекта «Образование». Появилась возможность продвигаться в области практико-ориентированного обучения студентов с использованием уникального оборудования и опыта высококвалифицированных работников.

Основу практико-ориентированного обучения составляет создание условий, в которых студент имеет возможность выявить и реализовать свой интерес к познанию. Обучение предполагает практическую деятельность по профилю обучения с участием профессионалов, т.е. участие студентов в научно-исследовательских или инженерных проектах по заданию предприятий. Работа и роль преподавателя ориентирована главным образом на действия в этих условиях. Студенты для развития исследовательского направления участвуют в проектных командах подготовки к олимпиадам, конкурсам, чемпионатам или могут работать над совместной практической задачей.

Материалы опросов студентов позволяют анализировать – как выбирали специальность и куда направятся, что дает основание для их рассмотрения в контексте проблемы подготовки кадров для аэрокосмической отрасли.

Практико-ориентированность позволяет студентам приобрести необходимый уровень профессиональных умений и навыков, опыт организаторской работы, профессиональную компетентность, умение применять свои знания на практике, что делает выпускников конкурентоспособными.

Topical Issues of Targeted Personnel Training in the SVE System for Aerospace Enterprises

Karshanov I.F., Dikova F.A.
USATU, Ufa, Russia

Changes in the process of training modern personnel are aimed at meeting the requirements of the regional labor market in the context of innovative development. One of the most important tasks is to forecast the needs and provide personnel for enterprises of the aerospace complex of the economy of the region.

In this regard, the aviation technical School of UGATU is working on a model of training personnel with a sufficient level of competence, able to quickly adapt to the constantly changing conditions of modern requirements. Educational programs are being modernized, practical orientation and individual training of students are being developed together with industrial partners.

Attention is paid to programs of additional professional education aimed at improving the skills of working specialists and at acquiring promising competencies by students. Profile enterprises can participate more actively in the educational process thanks to the opening of a network of workshops of secondary vocational education in the priority competencies for the Republic of Bashkortostan in the direction of "Industrial and engineering Technologies", which became possible thanks to a grant from the federal national project "Education". There was an opportunity to advance in the field of practice-oriented training of students using unique equipment and the experience of highly qualified employees.

The basis of practice-oriented learning is the creation of conditions in which the student has the opportunity to identify and realize his interest in knowledge. The training involves practical activities in the profile of training with the participation of professionals, i.e. the participation of students in research or engineering projects on the instructions of enterprises. The work and role of the teacher is mainly focused on actions in these conditions. For the development of the research direction, students participate in project teams preparing for Olympiads, competitions, championships or can work on a joint practical task.

The materials of the students' surveys allow us to analyze how they chose their specialty and where they will go, which gives grounds for their consideration in the context of the problem of personnel training for the aerospace industry.

Practice-oriented approach allows students to acquire the necessary level of professional skills, organizational work experience, professional competence, the ability to apply their knowledge in practice, which makes graduates competitive.

Встраивание в систему HR-аналитики авиастроительных компаний показателя эффективности долгосрочных вложений (ROI)

Кербер Л.С., Тихонов А.И.
МАИ, г. Москва, Россия

Повышение эффективности инвестиций в человеческий капитал является одной из важных задач в контексте системы HR-аналитики российских авиастроительных компаний. Эффективность инвестиций в сфере управления персоналом может быть повышена при помощи HR-аналитики за счет формализации и гармонизации соответствующих показателей и создания HR-метрик. Такой подход также позволяет сравнить эффективность инвестиций в HR с показателями других компаний, а также проанализировать систему HR-менеджмента конкурентов.

Одной из таких метрик является показатель эффективности долгосрочных вложений или ROI – return on investment, который позволяет оценить эффективность любых инвестиций и также может быть использован для анализа инвестиций в человеческий капитал компании.

Показатель ROI показывает прибыль (в %) на размер вложений и рассчитывается по следующей формуле:

ROI= (доходы от инвестиций - сумма инвестиций)/(сумма инвестиций)

Несмотря на свою простоту данный показатель нечасто используется в рамках систем HR-аналитики авиастроительных компаний ввиду неочевидности взаимозависимости подобного рода вложений и их влияния на финансовые и операционные показатели деятельности компании, а также сложностей в выявлении количественных характеристик положительных эффектов от вложений в HR.

При расчете ROI в контексте HR-аналитики необходимо определить перечень метрик, на которые окажут влияние инвестиции в человеческий капитал, и рассчитывать эффективность в рамках отдельных направлений. В контексте авиастроительных компаний такими метриками могут служить, например, уровень выпуска на одного работника, процент брака на производстве, уровень текучести кадров.

В данном случае целесообразно использование метода A/B-тестирования. Данный метод подразумевает выделение тестовой и контрольной группы работников, при этом эти группы должны быть однородны по своему составу и представлять схожие по своим характеристикам выборки. После выделения групп сотрудников производятся инвестиции в тестовую группу работников (например, для них проводятся курсы повышения квалификации), при этом все прочие условия для обеих групп остаются неизменными.

В результате появляется возможность сравнить производительность труда по двум группам и, как следствие, определить степень влияния инвестиций на ключевые метрики трудовой деятельности работника.

Таким образом, при применении показателя ROI в контексте HR-аналитики, соответствующие подразделения авиастроительных компаний получают возможность эффективно оценивать рентабельность инвестиций в человеческий капитал и принимать более

эффективные решения в части программ корпоративного обучения и мотивационных программ работников.

Литература:

1. Тихонов А.И. Основные задачи российских компаний, решаемые с помощью HR-аналитики. Естественно-гуманитарные исследования. 2020. № 28 (2). С. 262-266.

2. Строев В.В., Тихонов А.И. Инструмент по карьерному развитию персонала на предприятиях аэрокосмической отрасли. Московский экономический журнал. 2022. т. 7. № 7.

Implication of the ROI metric as the long-term investment efficiency indicator in the HR analytics system of aircraft manufacturing companies

Kerber L.S., Tikhonov A.I.

MAI, Moscow, Russia

Improvement of the efficiency of investments in human capital is one of the important tasks in the context of the HR analytics system of Russian aircraft companies. The effectiveness of investments in the field of personnel management can be increased with the help of HR analytics through the formalization and harmonization of corresponding indicators and the implementation of HR metrics. This approach also allows to compare the effectiveness of investments in HR with other companies and analyze the HR management system of competitors.

One of these metrics is the long-term investment efficiency indicator or ROI - return on investment, which allows to evaluate the effectiveness of any investment and can also be used to analyze investments in the human capital of a company.

The ROI indicator shows the profit margin on the size of investments and is calculated using the following formula:

ROI= (Investment Income - Cost of Investment)/(Cost of Investment)

Despite its simplicity, this indicator is rarely used within the framework of HR analytics systems of aircraft companies due to the lack of evidence of the interdependence of such investments and their impact on the financial and operational performance of a company, as well as difficulties in identifying quantitative characteristics of the positive effects of HR investments.

When calculating ROI in the context of HR analytics, it is necessary to determine the list of metrics that will be affected by investments in human capital and calculate efficiency within individual areas. In the context of aircraft manufacturing companies for such metrics can be taken, for example, the level of output per employee, the percentage of defects in production, employee turnover.

In this case, it is reasonable to use the A/B testing method. This method implies the exarticulation of a test and control groups of workers. These groups should be homogeneous in their composition and represent samples with similar characteristics. After the exarticulation of the above-mentioned groups of employees, investments are made in a test group of employees (for example, advanced training courses are held for them), while all other conditions for both groups remain unchanged.

As a result, it becomes possible to compare labor productivity in two groups and determine the degree of influence of investments on key metrics of an employee's labor activity.

Thus, the implication of the ROI indicator in the context of HR analytics allows the relevant departments of aircraft companies to effectively assess the return on investment in human capital and make more effective decisions regarding corporate training programs and employee motivation programs.

Принципы и подходы к освоению выпуска авиационной продукции в условиях блокирующих санкций

Кондратьев Д.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Введение беспрецедентных международных экономических санкций в ответ на проведение специальной военной операции на Украине кардинальным образом изменило вектор развития отечественной авиационной отрасли. В совокупности введенные санкции обеспечили со стороны европейских и американских компаний запрет на поставку, лизинг, техобслуживание и страхование воздушных судов и их компонентов в РФ [1]. По замыслу авторов санкций, они

должны привести к деградации и разрушению отраслей авиастроения и авиаперевозок и, как следствие, к нарушению транспортной доступности и связанности территории РФ.

Согласно Стратегии развития авиационной промышленности РФ на период до 2030 года, отечественное авиастроение – это экономически устойчивая, глобально конкурентоспособная отрасль, встроенная в мировой рынок и международное разделение труда. Текущая геополитическая ситуация требует кардинального изменения данной цели, которая должна быть направлена на локализацию разработки и освоения производства всего спектра продукции авиационной промышленности в целях полного удовлетворения потребностей внутреннего российского рынка [2].

В целях обеспечения указанной цели на Восточном экономическом форуме между ОАК и «Аэрофлот» было подписано соглашение о намерениях приобрести 339 самолетов российского производства, в том числе 210 МС-21, 89 SSJ-NEW и 40 Ту-214 в период с 2023 по 2030 год [3].

С учетом сохраняющихся в отрасли существенных проблем с обеспеченностью электронной компонентной базой, а также необходимости завершения ОКР по самолетам МС-21 и SSJ-NEW и освоения их производства, расширения производства Ту-214, со стороны руководства страны и интегрированных структур требуются решительные и взвешенные шаги по освоению производства вышеуказанных воздушных судов и их компонентов, такие как:

- Постановка реальных целей и задач по выпуску авиационной техники с учетом сроков завершения ОКР и освоения производства новой продукции;
- Внедрение централизованного планирования на общеотраслевом (общегосударственном) уровне в целях обеспеченности предприятий электронной компонентной базой;
- Контроль со стороны головных заказчиков за своевременной контрактацией и авансированием предприятий по кооперации, размещением заказов;
- Финансовая поддержка предприятий, в т.ч. доступ к льготному кредитованию, принятие фактических затрат на ОКР и производство, контроль за финансовым состоянием предприятий;
- Упрощение и оптимизация бизнес-процессов, связанных с закупками и расчетами по кооперации в обеспечение производства новой авиационной техники.

Таким образом, авиационной отрасли необходим комплексный, целевой подход к решению поставленных задач. Соответственно, указанные меры в случае их грамотного применения позволят обеспечить российскую авиацию современными и безопасными воздушными судами отечественного производства в разумные сроки.

Литература:

1. Вопросы работы гражданской авиации Российской Федерации в условиях санкций некоторых иностранных государств. [Электронный ресурс]. URL: https://www.aex.ru/docs/2/2022/3/23/3362/

2. Клочков В.В., Критская С.С. Прогнозирование влияния зарубежных экономических санкций на развитие российской авиационной промышленности // Проблемы прогнозирования. 2017. № 6. С. 58-68.

3. Аэрофлот и ОАК подписали соглашение о приобретении воздушных судов отечественного производства. [Электронный ресурс]. URL: https://www.aeroflot.ru/ru-ru/news/62465

Principles and approaches to commercial the production of aviation products under blocking sanctions

Kondratyev D.V.
MAI, Moscow, Russia

The imposition of unprecedented international economic sanctions in response to the carrying out of a special military operation in Ukraine has radically changed the vector of development of the aviation industry. Taken together, the imposed sanctions secured a ban on the supply, leasing, maintenance and insurance of aircraft and their components by European and American companies [1]. As conceived by the authors of the sanctions, they should lead to the degradation and destruction

of the aircraft manufacturing and air transportation industries and, as a result, to a violation of transport accessibility and connectivity of the territory of the Russian Federation.

According to the Strategy for the Development of the Aviation Industry for the period up to 2030, the domestic aircraft industry is an economically stable, globally competitive industry, built into the world market and the international division of labor. The current geopolitical situation requires a fundamental change in this goal, which should be aimed at localizing the development and production of the entire range of aviation industry products in order to fully meet the needs of the domestic market [2].

In order to achieve this goal, at the Eastern Economic Forum UAC and Aeroflot signed an agreement of intent to purchase 339 aircraft, including 210 MS-21, 89 SSJ-NEW and 40 Tu-214 in the period from 2023 to 2030 [3].

Taking into account the significant problems remaining in the industry with the provision of the electronic component base, as well as the need to complete the R&D for the MC-21 and SSJ-NEW aircraft and commercial their production, expand the production of Tu-214, decisive and balanced steps are required from the country's leadership and integrated structures for the commercial of the production of the above aircraft and their components, such as:

• Setting realistic goals and objectives for the production of aviation equipment, taking into account the timing of the completion of R&D and commercial the production of new products;

• Introduction of centralized planning at the industry-wide (nationwide) level in order to provide enterprises with an electronic component base;

• Control by the main customers over the timely contracting and advance payment of cooperation enterprises, placing orders;

• Financial support for enterprises, incl. access to concessional lending, acceptance of actual costs for research and development and production, financial control of enterprises;

• Simplification and optimization of business processes related to purchases and settlements for cooperation to ensure the production of new aviation equipment.

Thus, the aviation industry needs a comprehensive, targeted approach to solving the tasks set. Accordingly, these measures, if properly applied, will make it possible to provide native aviation with modern and safe aircraft of domestic production within a reasonable time frame.

References:

1. Voprosy raboty grazhdanskoj aviacii Rossijskoj Federacii v usloviyah sankcij nekotoryh inostrannyh gosudarstv. [Elektronnyj resurs]. URL: https://www.aex.ru/docs/2/2022/3/23/3362/

2. Klochkov V.V., Kritskaya S.S. Prognozirovanie vliyaniya zarubezhnyh ekonomicheskih sankcij na razvitie rossijskoj aviacionnoj promyshlennosti // Problemy prognozirovaniya. 2017. № 6. S. 58-68.

3. Aeroflot i OAK podpisali soglashenie o priobretenii vozdushnyh sudov otechestvennogo proizvodstva. [Elektronnyj resurs]. URL: https://www.aeroflot.ru/ru-ru/news/62465

Инструменты управления деловой карьерой персонала на предприятиях аэрокосмической отрасли

[1]Коновалова В.Г., [2]Гладкая К.В.

[1]МАИ, [2]ГУУ, г. Москва, Россия

Развитие и конкурентоспособность предприятий аэрокосмической отрасли зависит от наличия квалифицированного персонала. Утрата ценного специалиста влечет за собой утрату накопленного интеллектуального капитала, что является особенно критично для высокотехнологичных предприятий. Поэтому, важнейшей задачей специалистов управления персонала является удержание и развитие сотрудников, предоставление возможностей их карьерного развития на предприятии. [1]

Управление деловой карьерой персонала предполагает использование целого набора взаимосвязанных между собой инструментов.

Начальным этапом планирования карьеры сотрудника является проведение двусторонней оценки текущих навыков и компетенций самим сотрудником и его руководителем.

На основе полученных оценок руководителю необходимо провести карьерный диалог – регулярную развивающую беседу с сотрудником для улучшения результатов его работы, повышения удовлетворённости, а также для выявления амбиций и потенциала сотрудника. Именно при проведении карьерного диалога у руководителя есть возможность удержать ценных для организации специалистов, а у сотрудника получить качественную обратную связь, поддержку и полезные рекомендации.

Одним из основных инструментов управления карьерой выступает Индивидуальный план развития (ИПР) – документ, содержащий в себе описание целей работника относительно своего служебно-профессионального продвижения. Он формируется по итогам карьерных диалогов.

В процессе разработки ИПР работника принимают участие также специалисты по управлению персоналом и наставники. Так, например, в НПО Лавочкина был запущен проект наставничества, в рамках которого будущие наставники занимались обучением и развитием закрепленных за ними сотрудников, давали развивающую обратную связь и передавали свой профессиональный и карьерный опыт. [2]

Особое значение при управлении деловой карьерой персонала имеет предоставление путей карьерного развития в организации. Для этого был разработан инструмент по карьерному развитию сотрудников «Карьерный навигатор» – систематизированное описание наиболее часто встречающихся, оптимальных, логичных путей развития, который является связующим звеном процессов карьерного развития сотрудников.

Литература:

1. Тихонов, А.И., 2020. Основные факторы удержания сотрудников в российских компаниях. Московский экономический журнал, 7.

2. Проект «Отраслевая система наставничества» // Роскосмос URL: www.roscosmos.ru/32155/ (дата обращения: 09.2022).

The tools for business career management in aerospace enterprises

[1]Konovalova V.G., [2]Gladkaya K.V.

[1]MAI, [2]SUM, Moscow, Russia

The development and competitiveness of aerospace companies depends on the availability of qualified personnel. The loss of a valuable specialist entails the loss of accumulated intellectual capital, which is especially critical for high-tech enterprises. Therefore, the most important task of personnel management specialists is to retain and develop employees, provide opportunities for their career development at the enterprise. [1]

Management of the business career of personnel implies the use of a whole set of interrelated tools.

The initial stage of career planning of an employee is a two-way assessment of current skills and competencies by the employee and his or her supervisor.

Based on these assessments, the manager needs to conduct a career dialogue - a regular developmental conversation with the employee to improve performance, increase satisfaction, as well as to identify the employee's ambitions and potential. It is when conducting a career dialogue that the manager has the opportunity to retain valuable professionals for the organization, and the employee gets quality feedback, support and useful recommendations.

One of the main tools of career management is the Individual Development Plan (IDP) - a document containing the description of the employee's goals regarding his career advancement. It is formed according to the results of career dialogues.

Personnel management specialists and mentors are also involved in the development of the IPR of an employee. For example, a mentoring project was launched at NPO Lavochkin, in which future mentors were involved in the training and development of the employees assigned to them, provided developmental feedback, and passed on their professional and career experience. [2]

Of particular importance in the management of staff business careers is the provision of career development pathways within the organization. For this purpose a tool for the career development of employees "Career Path Tool" was developed – a systematic description of the most frequent,

optimal, logical development paths, which is a link of the processes of career development of employees.

Реализация принципа индивидуализации при обучении иностранным языкам в Московском авиационном институте с использованием образовательной платформы LMS

Коротун В.Л.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность работы обусловлена поиском современных образовательных технологий для успешного обучения студентов технических вузов иностранному языку.

Цель работы – обосновать целесообразность использования цифровых образовательных платформ при обучении иностранным языкам с учетом принципа индивидуализации.

Анализ литературы. Проблема индивидуализации обучения рассматривалась при изучении работ А.С. Границкой, И.А. Зимней, С. И. Осиповой, Т. В. Соловьевой. Особенности использования цифровых образовательных платформ рассматривались при изучении работ Е.Б. Волковой, Н.М. Масютиной, М.В. Моисеевой и др. Анализ литературы показал необходимость учета разных свойств личности студента для достижения положительных результатов обучения. Кроме того, около 30% успешности изучения иностранного языка при дистанционном обучении обусловлено уровнем общеучебных умений и навыков.

При разработке технологии обучения на принципе индивидуализации необходимо, чтобы были учтены:

1. факторы, обуславливающие уровень языковой подготовки, недостаточный для успешного освоения программы вуза
2. способы преодоления индивидуальных недостатков в знаниях и навыков;
3. факторы, обусловливающие умение студентов взаимодействовать с преподавателем и одногруппниками
4. варианты выбора студентами последовательности выполнения заданий в зависимости от индивидуальных возможностей и потребностей

Вывод. Индивидуальная траектория обучения строится на основе входного тестирования студентов на первом занятии иностранным языком, которое показывает предметное знание в области грамматики и лексики.

Разработанные преподавателями института иностранных языков электронные курсы на базе образовательной платформы LMS содержат:

• Элементы контроля знаний (тесты).

• Элементы визуализации для первичного ознакомления с материалом (презентации, учебные видео).

• Элементы визуализации для студентов, владеющих иностранным языком на более высоком уровне (аутентичные подкасты и видеолекции).

Наличие таких элементов позволяет выбирать индивидуальную траекторию изучения материала, что повышает мотивацию и приводит к успешному освоению программы.

Литература:

1. Границкая, А.С. Научить думать и действовать: Адаптив. система обучения в шк.: Кн. для учителя. М.: Просвещение. 1991. 172 с.

2. Зимняя, И. А. Ключевые компетенции - новая парадигма результата образования / И. А. Зимняя // Высшее образование сегодня. –2003. № 5. С. 34-42.

3. Коротун, В.Л., Волкова, Е.Б. Психологическая адаптация студентов в условиях самоизоляции: интегративный подход в обучении иностранному языку / В. Л. Коротун, Е. Б. Волкова // Муниципальное образование: инновации и эксперимент. 2022. № 3(84). С. 39-43.

4. Масютина, Н.М. Опыт проведения видеосеминаров при дистанционном проведении занятий по иностранному языку в вузе / Н. М. Масютина // Современный ученый. 2021. № 1. С. 8-10.

5. Моисеева, М.В. Интернет-обучение: технологии педагогического дизайна / М.В. Моисеева, Е.С. Полат, М.Ю. Бухаркина, М.И. Нежурина; под ред. кандидата педагогических наук М.В. Моисеевой. М.: Издательский дом "Камерон". 2004. 216 с.
6. Осипова, С.И. Проектирование студентом индивидуальной образовательной траектории в условиях информатизации образования / С. И. Осипова, Т. В. Соловьева; Сибирский федеральный университет. Москва; Красноярск: Сибирский федеральный университет. 2013. 140 с.
7. Стародубцев, В.А. Персонализированные МООК в смешанном обучении. Высшее образование в России. 2015. № 10. С. 133-144.

Implementation of the principle of individualization in teaching foreign languages at the Moscow Aviation Institute using the LMS educational platform

Korotun V.L.
MAI, Moscow, Russia

The relevance of the work is due to the search for modern educational technologies for the successful teaching of students of technical universities in a foreign language.

The purpose of the work is to substantiate the expediency of using digital educational platforms when teaching foreign languages, taking into account the principle of individualization.

Literature analysis. The problem of individualization of learning was considered when studying the works of A.S. Granitskaya, I.A. Zimnaya, S. I. Osipova, T. V. Solovieva. The features of using digital educational platforms were considered when studying the works of E.B. Volkova, N.M. Masyutina, M.V. Moiseeva and others. The analysis of the literature has shown the need to take into account different characteristics of the student's personality in order to achieve positive learning outcomes. In addition, about 30% of the success of learning a foreign language in distance learning is due to the level of general academic skills and abilities.

When developing a learning technology based on the principle of individualization, it is necessary that the following be taken into account:

1. factors that determine the level of language training that is insufficient for the successful development of the university program;
2. ways to overcome individual deficiencies in knowledge and skills;
3. factors determining the ability of students to interact with the teacher and classmates;
4. options for students to choose the sequence of tasks depending on individual capabilities and needs.

Conclusion. The individual learning trajectory is based on the entrance testing of students in the first lesson of a foreign language, which shows subject knowledge in the field of grammar and vocabulary.

Electronic courses developed by teachers of the Institute of Foreign Languages on the basis of the LMS educational platform contain:

• Knowledge control elements (tests).
• Visualization elements for initial familiarization with the material (presentations, educational videos).
• Visualization elements for students who speak a foreign language at a higher level (authentic podcasts and video lectures).

The presence of such elements allows students to choose an individual trajectory of studying the material, which increases motivation and leads to the successful development of the program.

Комплексный подход к стратегическому управлению предприятиями космической отрасли

[1]Красноперов П.М., [1]Горбунов Г.Л., [2]Бурдина А.А.
[1] РКК «Энергия», г. Королёв, Россия
[2]МАИ, г. Москва, Россия

Стратегический план развития предприятия космической отрасли наряду с разработкой маркетингового плана, должен содержать следующие ключевые этапы:

-Выбор оптимального состава элементов космической инфраструктуры – изделий космической техники, которые необходимо разработать и произвести в намеченные сроки.

• Анализ имеющегося научно-технологического задела и технологий, необходимых элементов космической инфраструктуры

• Разработка программы создания новых технологий. Разработка программы инновационного развития предприятия.

-Анализ производственной базы. Разработка программы развития производственной базы.

-Разработка программы разработки новых изделий.

-Разработка программы цифровой трансформации предприятий.

-Разработка программы развития кадрового потенциала.

-Внедрение мероприятий бережливого производства.

• Разработка долгосрочной программы развития предприятия, в том числе системы управления предприятием, организационной структуры, финансово-хозяйственной деятельности, системы управления затратами на всех этапах жизненного цикла изделий.

• Разработка программы развития кооперации – предприятий-смежников.

Разработана и внедрена Программа стратегических преобразований предприятия аэрокосмической отрасли, но направлениям:

1. Развитие конструкторского потенциала.

2. Проектное управление.

3. Цифровая трансформация.

3.1. Цифровой продукт – проект внедрения системы управления жизненным циклом изделий.

3.2. Цифровое производство.

3.3. Цифровое предприятие.

4. Повышение эффективности производства, в том числе:

• Оптимизация производственных мощностей (переход с универсального оборудования на ВПО, изменение графика работы ВПО).

• Передача на аутсорсинг производственных переделов с низким технологическим уровнем и экономически неэффективных.

• Реструктуризация цеховой структуры, объединение цехов, создание центров производственной специализации (механообработки, БКС).

• Внедрение системы планирования и мониторинга производства.

• Внедрение системы управления цепочкой поставок.

Целевой облик производственной площадки:

• Устаревший парк оборудования заменен на высокопроизводительное оборудования, достигнут высокий уровень технической перевооруженности производства.

• Оптимизированы производственные мощности, в том числе за счет, создания центров специализации, стандартизации и унификации технологий.

• Выстроена система управления внутренней производственной кооперацией.

• Внедрены системы прогнозирования и планирования производства.

• Централизована и оптимизирована закупочная деятельность.

5. Оптимизация обеспечивающих бизнес-процессов:

Современная система управления с низким уровнем накладных расходов и тотальным сокращением бюрократических процедур:

• Переход на сервисную модель.

• Внедрено сквозное управление портфелями программ.

• Оптимизирована численность АУП.

• Отлажены вспомогательные бизнес-процессы: логистика, маркетинг, подготовка кадров – создано единое информационное пространство.

An integrated approach to strategic management of space industry enterprises

[1]Krasnoperov P.M., [1]Gorbunov G.L., [2]Burdina A.A.
[1]RSC Energia, Korolev, Russia
[2]MAI, Moscow, Russia

Стратегический план развития предприятия космической отрасли наряду с разработкой маркетингового плана, должен содержать следующие ключевые этапы:

-Выбор оптимального состава элементов космической инфраструктуры – изделий космической техники, которые необходимо разработать и произвести в намеченные сроки.

The strategic plan for the development of a space industry enterprise, along with the development of a marketing plan, should contain the following key stages:

-Selection of the optimal composition of the elements of the space infrastructure – space technology products that need to be developed and produced on schedule.

• Analysis of the existing scientific and technological reserve and technologies, necessary elements of the space infrastructure.

• Development of a program for the creation of new technologies. Development of the innovative development program of the enterprise.

-Analysis of the production base. Development of a program for the development of the production base.

-Development of a program for the development of new products.

• Development of a digital transformation program for enterprises.

• Development of a human resources development program.

-Implementation of lean production measures.

• Development of a long-term enterprise development program, including the enterprise management system, organizational structure, financial and economic activities, cost management system at all stages of the product life cycle.

• Development of a program for the development of cooperation – related enterprises.

A program of strategic transformations of the aerospace industry enterprise has been developed and implemented in the following areas:

1. Development of design potential.
2. Project management.
3. Digital transformation.
3.1. Digital product – a project for the implementation of a product lifecycle management system.
3.2. Digital production.
3.3. Digital Enterprise.
4. Increase of production efficiency, including:

• Optimization of production capacities (transition from universal equipment to HPE, change of the HPE work schedule).

• Outsourcing of production processes with a low technological level and economically inefficient.

• Restructuring of the shop structure, consolidation of workshops, creation of production specialization centers (machining, BCS).

• Implementation of the system production planning and monitoring.

• Implementation of a supply chain management system.

5. Optimization of supporting business processes:

Modern management system with low overhead and total reduction of bureaucratic procedures:

• Transition to a service model.

• Implemented end–to-end management of program portfolios.

• Optimized the number of AUP.

• Auxiliary business processes have been debugged.

Цифровой наставник и цифровой студент: новые реалии в образовательном пространстве

Курбаков А.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность данной работы в том, что проблема эффективность дистанционного обучения и смешанного обучения перестали быть предметом теоретических дискуссий и стали практической необходимостью.

Целью данного исследования является изучение необходимости разработки эффективных инструментов обеспечения атмосферы сотрудничества преподавателя и студентов в современных условиях виртуального или смешанного обучения.

Обзор работ. Анализ проблемы опирался на труды отечественных и зарубежных экспертов в области цифрового образования, в частности: Е.Н. Солововой, Н.И. Цветковой, А.К. Каллиопина, М.А. Кожевниковой, С.В. Лысенко.

Из-за длительного периода изоляции большая часть преподавателей и студентов отмечали недостаток личного участия во взаимодействии и высказывались за возвращение к очному обучению, лицом к лицу, которое характеризуется высоким уровнем взаимодействия во время занятий. Эффективное преподавание иностранного языка подразумевает обучение навыкам письма, чтения и говорения, применимым для профессионального использования, а также навыкам общения в сочетании с эмоциональным социальным взаимодействием.

Для апробации гипотезы об эффективности новой электронной образовательной среды был проведен анализ применения активных методов обучения в преподавании иностранных языков Московском авиационном институте (НИУ).

Активные методы обучения в преподавании иностранных языков, показаны на примере ролевых игр, дебатов, панельных дискуссий, организованных и проведенных в условиях использования доступных электронных платформ.

Исследование показало преимущества ролевых игр и панельных дискуссий, которые стимулируют студентов к реальному общению, выражению мнений и чувств. Студенты учатся реагировать соответствующим образом. Исследование показало большую заинтересованность студентов в персонализации своих позиций и взглядов, что позволяет им жить и анализировать сотрудничество в различных социальных и профессиональных условиях. В то же время исследование показало высокий уровень вовлеченности и академической успеваемости студентов.

Вывод: исследование доказало актуальность активных методов обучения даже в среде электронного обучения как разумного решения проблемы дефицита социального взаимодействия в условиях изоляции.

1. A. K. Kalliopin. About approaches to the organization of scientific work at the Faculty of Foreign Languages of the MAI and about the directions of scientific research of faculty youth (instead of the preface to the collection – In the collection: Actual problems of modernity in the scientific and creative understanding of students, postgraduates and doctoral students. Collection of scientific articles of the Faculty of Foreign Languages of the MAI (NRU). Moscow, 2017. P. 6-15.

2. Kozhevnikova M., Kurbakova S., Vasilyeva S., Kurbakov A. New Approaches to speech communication in the education process under the COVID-19 pandemic. ICERI2020 Proceedings, pp.5020-5025. 2020. Retrieved from URL: doi: 10.21125/iceri.2020.1086.

3. Lysenko S. V. Activity-based representation of Aviation English: an article in the proceedings of the conference. / S. V. Lysenko, G. Taylor. – M.: Publishing house: "Gradient" LLC, 2015. – p. 236-241.

4. Tsvetkova N., Solovova E. A New Teacher: in Search of Identity. In the book: The Magic of Innovation: New Techniques and Technologies in Teaching Foreign Languages. Cambridge Scholar Publishing. 2015.

Digital tutor and digital student: new realities in the educational environment

Kurbakov A.V.
MAI, Moscow, Russia

The relevance of this work is in the fact that the problem of effectiveness of distance learning and blended learning is no longer the subject of theoretical discussions. It has become a practical necessity.

The purpose of this research is to analyze the effective tools of providing collaborative atmosphere between the tutor and students under current conditions of virtual or blended learning.

Review of the sources. The analysis of the problem was based on the works of domestic and foreign experts in the field of digital education, in particular: E.N. Solovova, N.I. Tsvetkova, A.K. Kalliopin, M.A. Kozhevnikova, S.V. Lysenko.

Due to a long period of isolation, most teachers and students noted a lack of personal engagement in interaction and supported a return to face-to-face teaching, which is characterized by a high level of interaction during classes. Foreign language efficiency implies writing, reading and speaking skills applicable for professional use as well as a good command of communication skills in combination with emotional social interaction.

To test the hypothesis about the effectiveness of the new electronic educational environment, we analyzed the use of active learning methods in foreign language teaching at the Moscow Aviation Institute (NRU).

Active methods in teaching foreign languages were exemplified in role-plays, debate, panel discussions, project work organized and performed with the use of available e-platforms.

The study has demonstrated the benefits of role-plays and panel discussions which stimulate students to perform real communication, express opinions and feelings. Students learn to react accordingly. The research has demonstrated great interest of students in personalization of their stances and views which enables them to live and analyze collaboration under different social and professional conditions. At the same time the study has testified to a high level of student engagement and academic progress.

Conclusion: the research has proved the relevance of active learning methods even in e-learning environment as a reasonable solution to the problem of deficiency of social interaction under lockdown conditions.

Формирование навыков критического мышления на занятиях по аннотированию и реферированию

Курбакова С.Н.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность темы определяется бурным ростом объема информации в медийном пространстве и ее качественной неоднородностью, что вызывает необходимость в развитии навыков обработки получаемых данных и сведений, в том числе аннотирования и реферирования. Представителям как инженерных специальностей, как и гуманитариям необходимы прочные навыки критического анализа текстов.

Цель: обосновать развитие таких практик аналитической работы с текстами на практических занятиях по аннотированию и реферированию, которые побуждают студентов к активной самостоятельной мыслительной деятельности по обработке получаемой информации и расширению фоновых знаний.

Обзор публикаций показал, что исследования механизмов, путей и способов речевого воздействия словом на сознание людей приобрели особое значение в наше время (Н.Ф. Алефиренко, В.З. Демьянков, Е.В. Пономаренко, Е.Ф. Тарасов, А.Н. Леонтьев, А.Н. Чудинов). Вполне естественно, что требуется интеграция ряда научных дисциплин для анализа технологий влияния и убеждения с помощью слова.

В связи с большой доступностью информации у студентов формируется «потребительское» отношение к ней: если необходимые сведения легко найти в Интернете в готовом виде, то якобы нет необходимости знать и запоминать. Такое угасание мыслительных процессов т.н. «низового уровня» ведет к торможению в овладении навыками высшего порядка, а именно:

аккумулировать, анализировать, синтезировать, оценивать. Занятия по аннотированию и реферированию нацелены на развитие выше указанных навыков.

В ходе исследования были выявлены следующие ключевые моменты. Во-первых, подбор учебного материала должен соответствовать уровню подготовки студентов, но при этом способствовать расширению их специальных и фоновых знаний, в частности, овладению специальной терминологией. Во-вторых, при анализе текста, особенно на общественно-политическую тему, необходимо указывать на идеологическую составляющую: разобрать эксплицитный и имплицитный планы содержания и способы его выражения. В этом аспекте велика роль преподавателя как воспитателя гражданских, патриотических качеств. В-третьих, важно развивать умение обобщать и делать выводы, избегая детализирования и пересказа. Поощряется лаконичная формулировка тезиса и основных аргументов.

Вывод: сегодня эффективная обработка информации предстает ключевым навыком для квалифицированного специалиста как в технической, так и гуманитарной сферах.

1. Алефиренко Н.Ф. Дискурс как смыслопорождающая категория (дискурс и вторичное знакообразование)./ Язык. Текст. Дискурс. 2005. №5. С. 5-13.

2. Демьянков В.З.Текст и дискурс как термины и как слова обыденного языка // «Вопросы филологии», 2007. С.86–95.

3. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. М.: Изд центр «Академия». 2005. 352 с.

4. Пономаренко Е.В. Лингвосинергетика компетентностного подхода (на материале английского языка): Монография.- М.: МГИМО-Университет, 2010.

5. Тарасов Е.Ф. Введение в теорию языкового сознания / Организационная психолингвистика, том 14, № 2, с. 10-35.

6. Чудинов А.П. Современная политическая коммуникация: учеб. пособие / отв. ред. А.П.Чудинов / Урал. гос. пед. ун-т. Екатеринбург, 2009. – 292 с.

7. Kurbakova S.N., Volkova Z.N., Kurbakov A.V. Developing students'cognitive abilities in e-learning environment. В сборнике: ACM International Conference Proceeding Series. 12. Сер. "IC4E 2021 - 2021 12th International Conference on E-Education, E-Business, E-Management, and E-Learning" 2021. С. 124-130.

Developing Analytical Thinking in the Process of Summarizing and Reviewing Texts

Kurbakova S.N.

MAI, Moscow, Russia

Relevance of the topic is predetermined by a dramatic increase of information flux in mass media and its diversity of contents and organization. Hence, it causes the urgency of developing skills of processing perceived data and evidence including summarizing and reviewing texts. Both technical and academic experts have to become adept at analyzing texts.

The research is aimed at elaborating methodology of analytical reviewing texts at the corresponding classes, which will encourage students to invigorate their brains' activities of processing received information and expanding background knowledge.

Review of the publications on the topic has demonstrated that research into the mechanisms and tools of verbal persuasion has acquired special importance nowadays (N. Alephirenko, V. Demyankov, Eu. Ponomarenko, Eu. Tarasov, A. Leontyev, A. Chudinov). It is obvious that integration of scientific disciplines is needed in order to study techniques of verbal persuasion.

Hypothesis. Due to an easy access to information modern students have formed the so called 'consuming' attitude to it: allegedely, if it is easy to find necessary data in the Internet which is ready for the usage, then there is no need to remember and accumulate knowledge. This diminishing cognitive activities of the 'lower level' may result in decline of mental activities of the higher level, namely: to accumulate, analyze, synthesize, evaluate information. Class practice in summarizing and reviewing texts are aimed at the mentioned above skills.

The research has exposed the following key points. Firstly, selection of educational material should be relevant to the level of students' training and in addition pursue the goal of expanding their background and special knowledge, and special terminology, in particular. Secondly, when reviewing

a text, especially on social and political topics, it is vital to assess the ideological component of its contents: to analyze explicit and implicit information and verbal tools of its expression. In this context the role of a teacher in the process of instilling patriotism and citizenship has dramatically grown. Finally, it is important to develop the skills of summarizing and making conclusions while avoiding excessive detail and retelling. Being laconic when articulating a thesis and argumentation is praised.

Conclusion. Nowadays efficient processing of information is deemed a key skill of a modern technical and academic specialist.

Совершенствование системы подбора и отбора персонала на предприятиях аэрокосмического комплекса

Кущёв Н.П.
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время в Российской Федерации продолжается системная реорганизация, которая направлена на реализацию стратегических задач, по обеспечению устойчивости экономики страны. В связи с этим, особую значимость приобретает оборонно-промышленный комплекс в целом и предприятия аэрокосмического комплекса в частности. Решение задач, связанных с эффективностью их деятельности, напрямую зависит от качества комплектования этих организаций. Одним из факторов, определяющим данное положение, выступает кадровый «голод» предприятий аэрокосмического комплекса (причем не столько количественный, сколько качественный). В связи с чем, подбор и отбор персонала на предприятиях аэрокосмической отрасли рассматриваются как кадровые процессы, входящие в группу процессов и технологий формирования кадрового состава. Поэтому и следует их рассматривать, как элементы управления персоналом с выделением методических аспектов. Анализ сложившейся системы подбора и отбора предприятий аэрокосмического комплекса показывает, что не существует однозначного понимания этих категорий. В интерпретации подбора и отбора существует три подхода с разной последовательностью в их реализации. Первый подход – подбор следует за отбором: сначала из всей массы кандидатов отбираются формально соответствующие, а потом из них отбирается те, кто соответствуют по критериям, установленным в данной организации. Второй – разводит эти две категории: отбор предусматривает выбор на конкретные должности с учетом их требований. Тогда как подбор – это обратная процедура, где реализуются поиск, идентификаций требований должностей под конкретного человека, претендента [1]. Строго говоря, в этом случае уже нельзя говорить «подбор» персонала, поскольку этот процесс не реализуется. Третий – возвращает к последовательной реализации подбора и отбора, но не как в первом случае, когда подбор следует за отбором, а наоборот. Подбор предполагает поиск чего-то, что соответствует заявленным требованиям. Указанные проблемы вполне реализуемы на концептуальной основе, предложенной проф. А.Я. Кибановым и проф. И.Б. Дураковой, которые рассматривают сущность подбора и отбора как: фактор эволюционного развития предприятия; отбор фокусируется на оценивании способности каждого их кандидатов исполнять функционал вакантной должности; в отборе в концентрированной форме находит выражение «триада ожиданий» – личности, предприятия и общества [2]. Учитывая изложенное, предлагается в схеме подбора и отбора персонала выделить два основных элемента: общие и конкретные требования к системе. Общие требования включают в себя требования внешней среды. Конкретные требования – это «субъективные» требования системы, которые она формирует для решения текущих задач. В свою очередь они делятся на три группы требований: к рабочим местам; к кандидатам на должности; к процедурам подбора и отбора на должности. Реализация предложенной схемы подбора и отбора специалистов позволит обеспечивать формирование такого кадрового состава организации, который будет способен эффективно выполнять функции, определённые соответствующими должностными инструкциями.

Литература:

1. Управление персоналом: Учебник. Изд. 2-е. / Под общ. ред. А.И. Турчинова. – М.: Изд-во РАГС, 2008. – С. 301-302

2. Кибанов А.Я., Дуракова И.Б. Управление персоналом организации: отбор и оценка при найме, аттестация: учебное пособие для студентов вузов. М., 2005.

Improvement of the system of recruitment and selection of personnel in municipal service organizations

Kushchev N.P.
MAI, Moscow, Russia

Currently, the Russian Federation is undergoing a systemic reorganization aimed at implementing strategic objectives to ensure the sustainability of the country's economy. In this regard, the military-industrial complex in general and the enterprises of the aerospace complex in particular are of particular importance. The solution of tasks related to the effectiveness of their activities directly depends on the quality of recruitment of these organizations. One of the factors determining this situation is the personnel "hunger" of aerospace enterprises. In this connection, the selection and selection of personnel at the enterprises of the aerospace industry are considered as personnel processes included in the group of processes and technologies for the formation of personnel. Therefore, they should be considered as elements of personnel management with the allocation of methodological aspects. The first approach is selection follows selection: first, formally relevant candidates are selected from the entire mass of candidates, and then those who meet the criteria established in this organization are selected from them. The second one separates these two categories: the selection provides for the selection of specific positions, taking into account their requirements. Whereas the selection is the reverse procedure, where the search is carried out, the identification of the requirements of positions for a specific person, the applicant [1]. Strictly speaking, in this case it is no longer possible to say "recruitment" of personnel, since this process is not being implemented. The third one returns to the sequential implementation of selection and selection, but not as in the first case, when selection follows selection, but vice versa. Selection involves searching for something that meets the stated requirements. These problems are quite feasible on the conceptual basis proposed by Prof. A.Ya. Kibanov and Prof. I.B. Durakov, who consider the essence of selection and selection as: a factor of the evolutionary development of the enterprise; selection focuses on assessing the ability of each of their candidates to fulfill the functionality of the vacant position; in the selection in a concentrated form, the "triad of expectations" - personality, enterprise and society finds expression [2]. Considering the above, it is proposed to distinguish two main elements in the recruitment and selection scheme: general and specific requirements for the system. General requirements include the requirements of the external environment. Specific requirements are the "subjective" requirements of the system that it forms to solve current tasks. In turn, they are divided into three groups of requirements: for jobs; for candidates for positions; for recruitment and selection procedures for positions. The implementation of the proposed scheme for the selection and selection of specialists will ensure the formation of such a staff of the organization that will be able to effectively perform the functions defined by the relevant job descriptions.

References:

1. Personnel Management: Textbook. Ed. 2nd. / Under the general editorship of A.I. Turchinov. – M.: RAGS Publishing House, 2008. – pp. 301-302

2. Kibanov A.Ya., Durakova I.B. Personnel management of the organization: selection and evaluation during hiring, certification: textbook for university students. M., 2005.

Работа в группах как эффективный метод обучения студентов авиационных университетов

Левитина А.М.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность: Представленное Вам исследование посвящено изучению применения групповой работы среди студентов авиационного университета в рамках преподавания такой дисциплины как иностранный язык. На сегодняшний день предпосылки к исследованиям методов групповой работы в контексте преодоления языкого барьера студентами занимает

отдельное место. Как отмечает С.Г. Зубанова, развитие лингвистического образования в авиационном институте, а именно формирование активной языковой среды, играет большую роль в формировании профессиональных навыков студентов.

Обзор: Вопрос, посвященный повышению рецептивных (аудирование и чтение) и продуктивных (говорение и письмо) навыков неоднократно становился предметом для обсуждения среди таких ученых как: Е.Н.Соловова, Михеева Н. Ф., Щукин А.Н., Зубанова С.Г. и др.

За основу данного исследования взят анализ различных методов и тактик, исходя из выше указанных работ, позволяющих прибегнуть к групповой работе в рамках практического занятия по английскому языку в авиационных институтах.

Цель: Главная цель данной работы заключается в выявлении наиболее эффективного способа преподавания английского языка с помощью работы в группах и парах. Для ее достижения был применен метод сравнительного анализа контрольной и экспериментальной групп.

Вывод: В заключение можно сделать вывод о том, что студенты экспериментальной группы быстро смогли преодолеть языковой барьер, и выступить с высказываниями, а студенты контрольной группы продолжали, в свою очередь, продолжили испытывать трудности и акцент их учебной деятельности в результате был только на рецептивных навыках.

Практическая ценность работы заключается в том, что на ее основе были выявлены наиболее эффективные техники преподавания с применением работы в группах и влияние данных техник на развитие языковых навыков у студентов. Помимо этого, она может быть использована для дальнейших исследований в сфере преподавания.

1. Зубанова С.Г., Развитие лингвистического образования в авиационном вузе: проблемы и перспективы внедрения основной образовательной программы лингвистической магистратуры / Светлана Геннадьевна Зубанова. – Текст: электронный // ОБЩЕСТВО: СОЦИОЛОГИЯ, ПСИХОЛОГИЯ, ПЕДАГОГИКА. – 2019. – 3(59) – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-lingvisticheskogo-obrazovaniya-v-aviatsionnom-vuze-problemy-i-perspektivy-vnedreniya-osnovnoy-obrazovatelnoy-programmy/viewer

2. Михеева Н. Ф., Методика преподавания иностранных языков: Учеб. Пособие. – М.: РУДН, 2007. – 64 с. – ISBN 978-5-209-02757-7.

3. Соловова Е.Н., Методика обучения иностранным языкам: базовый курс лекций: пособие для студентов пед. вузов и учителей / Е.Н. Соловова. – 3-е изд. – М.: Просвещение, 2005. – 239 с. – ISBN 5-09-013891-5.

4. Соловова Е.Н., Обучение иностранным языкам — современные проблемы и решения : сборник материалов I Международной научно-практической конференции имени Е. Н. Солововой (5–6 ноября 2019 года) [Электронный ресурс] / под ред. М. А. Буровой, А. Е. Буровой и др. — Обнинск : Титул, 2020. — 796 с. – ISBN 978-5-6043136-9-5

5. Щукин А.Н., Обучение иностранным языкам: Теория и практика: Учебное пособие для преподавателей и студентов. – М.: Фииломатис, 2004. – с. 416. – ISBN 5-204-00341-X.

Group Work as an Effective Teaching Method for Students of Aviation Institutes

Levitina A.M.
MAI, Moscow, Russia

Relevance: The investigation deals with studies of group techniques in terms of teaching aviation institute students foreign languages. The premise of studying group methods in terms of students' ability to overcome language barrier is considered to be the issue of high importance in today's modern world. According to S.G. Zubanova, the development of linguistic education in the aviation institute, especially the formation of intensive language environment, plays a huge role in students' professional skills formation.

Literature review: The issue devoted to the improvement of receptive and productive skills has repeatedly been the subject of discussion among such famous scholars as: E.N. Solovova, N.F. Mikheeva, A.N. Shchukin, S.G. Zubanova, etc.

The present research focuses on various methods and tactics, sourced from the works mentioned above, which allow to implement group technics during classes of foreign languages at technical universities.

Objective: The general purpose of this project is to reveal the most effective ways of teaching the English language by means of work in groups or pairs. The method utilised to attain this aim is the comparative analysis of the experimental and control groups.

Conclusion: In conclusion, experimental group students quickly got over the language barrier and started constructing sentences. In contrast to it, the students of the control group continued to face difficulties and the focus of their studies was only on receptive skills as a result.

Practical value: The research is intended to shed light on various teaching techniques in terms of groups and their influence on students' language skills and to provide the researchers with opportunities for further investigations in teaching.

Формирование универсальной карты типового решения по цифровизации СМК

Лесик Е.С.
МАИ, г. Москва, Россия

С целью поддержания конкурентоспособности современное промышленное предприятие аэрокосмической отрасли буквально вынуждено совершенствовать применяемую систему управления за счет цифровой трансформации своего бизнеса. При этом внедрение цифровых технологий и пересмотр исключительно производственных процессов недостаточен для достижения устойчивого успеха компании: требуется комплексное цифровое развитие производства аэрокосмической техники. В результате возникает потребность в том числе в цифровизации процессов управления качеством на предприятии. Однако ввиду отсутствия на текущий момент референтной модели цифровой трансформации системы менеджмента качества (СМК), целью проводимого исследования является формирование универсальной карты типового решения по цифровизации СМК.

Для достижения поставленной цели был проведен анализ стандартов, регламентирующих деятельность СМК, выделены типовые процессы СМК, сформирован перечень обязательных и необязательных шагов выделенных процессов, было предложено формальное представление системы управления качеством как производящей системы, что в свою очередь позволяет бесшовно связать процессы СМК с другими процессами предприятия.

В результате проделанной работы с использованием указанного формального представления была сформирована универсальная карта типового решения по цифровизации СМК, содержащая набор основных процессов, на базе которого каждое предприятие могло бы сформировать наиболее оптимальный вариант цифровизации собственной службы СМК. При этом в случае отсутствия требуемых предприятием шагов, предложенная карта должна быть расширена.

Полученная карта типового решения может быть использована для построения отраслевых решений по цифровизации СМК, например, решений для производственных предприятий или предприятий, занимающихся проведением технического обслуживания и ремонта авиационной техники. В целом использование карт типовых решений позволяет предприятиям сократить издержки, связанные с построением моделей текущих и целевых бизнес-процессов, уменьшить количество допускаемых ошибок в целевом представлении бизнес-процесса.

Formation of a universal template of a typical solution for digitalization of the QMS

Lesik E.S.
MAI, Moscow, Russia

In order to maintain competitiveness, a modern industrial enterprise in the aerospace industry is literally forced to improve the applied management system through the digital transformation of its business. At the same time, the implementation of digital technologies and the review of exclusively production processes are not enough to achieve the sustainable success of the company: a comprehensive digital development of the production of aerospace equipment is required. As a result,

there is a need for the digitalization, among other things, of quality management processes in the enterprise. However, due to the current lack of a reference model for the digital transformation of the quality management system (QMS), the purpose of the research is to form a universal template of a typical solution for the digitalization of the QMS.

To achieve this goal, an analysis of the standards governing the activities of the QMS was carried out, typical QMS processes were identified, a list of mandatory and optional steps of the selected processes was formed, a formal representation of the quality management system as a producing system was proposed, which in turn allows you to seamlessly associate the QMS processes with other enterprise processes.

As a result of the research, using the indicated formal representation, a universal template of a typical solution for the digitalization of the QMS was formed, containing a set of basic processes, on the basis of which each enterprise could form the most optimal variant of the digitalization of its own QMS service. In this case, in the absence of the steps required by the enterprise, the proposed template should be expanded.

The resulting template of a typical solution can be used to form industry-specific solutions for the digitalization of the QMS, for example, solutions for manufacturing enterprises or enterprises involved in the maintenance and repair of aviation equipment. In general, the use of templates of typical solutions allows enterprises to reduce the costs associated with building models of current and target business processes, reduce the number of errors in the target representation of a business process.

Антиномия краткости и надёжности как основной механизм функционирования языка радиообмена в авиации

Лысенко С.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Язык радиообмена в авиации предназначен для переговоров пилотов с авиадиспетчерами на русском или английском языках. Рассмотрим особенности его функционирования на примере английского языка.

Актуальность темы работы заключается в том, что ИКАО требует повысить качество обучения английскому языку участников радиообмена, а совершенствование методики обучения данному языку может быть обеспечено более глубоким исследованием его теоретических основ, которые изучены еще недостаточно.

Цель доклада – впервые проанализировать теоретические основы структуры данного языка, обусловленные антиномией краткости и надёжности.

Методы исследования – обзор научной литературы, структурный анализ языка, координационно-деятельностный анализ языковых явлений.

Обзор литературы. Аспекты английского языка радиообмена в авиации изучали: лингвистический состав – С.В. Осадчая (2018), отдельные теоретические особенности языка – С.В. Лысенко (2012, 2021, 2022), методику преподавания – М.Н. Овсянникова (2012).

Исследование. Поскольку радиообмен ведется на фоне радиопомех и в условиях дефицита времени, к языку предъявляются образующие антиномию, т.е. сочетание противоположных свойств, требования краткости и надёжности, которые достигаются благодаря свойственным языку вообще явлениям экономии и избыточности языковых средств.

Экономия языковых средств возможна благодаря использованию в речи эллиптических фраз, сокращенных терминов, аббревиатур и особых «стандартных слов» (“Affirmative” и др.), которые могут заменять целые высказывания. Все это позволяет передавать максимум информации за короткие периоды времени. Избыточность языка, наоборот, ведет к увеличению объема сообщений и времени их передачи, но она представляет собой своего рода «запас прочности» языка и необходима для обеспечения надёжности коммуникации. В лингвистике под избыточностью понимается повторяемость и взаимозависимость элементов речи. В языке радиообмена она создается небольшим словарем, повторением элементов сообщений, дублированием высказываний стандартными словами, ограниченным набором грамматических средств, простыми синтаксическими конструкциями. Такое

сбалансированное соотношение явлений экономии и избыточности в языке радиообмена обеспечивает порождение кратких, но информативно ёмких фраз и их понимание с первого предъявления.

Вывод. Проведя анализ структуры английского языка радиообмена в авиации, можно заключить, что антиномия краткости и надёжности является основным механизмом его функционирования, который обеспечивает эффективную реализацию противоположных по своей сути требований, предъявляемых к данному языку, и позволяет быстро передавать краткие сообщения и надёжно (правильно и однозначно) понимать их. Поэтому обучать пилотов и авиадиспетчеров следует, используя аутентичные материалы радиопереговоров, содержащие как эллиптические конструкции, которые необходимо учить мысленно восстанавливать до полной структуры, так и избыточные элементы, которые нужно учить распознавать в сообщениях и самим использовать их в речи, что позитивно скажется на безопасности полетов авиации.

Antinomy of brevity & reliability as the fundamental mechanism of the functioning of the language of aeronautical radiotelephony communications

Lysenko S.V.
MAI, Moscow, Russia

The English language of aeronautical radiotelephony communications (for short «the Language») is used for radio exchange of messages by pilots and air traffic controllers.

Relevance of research. The ICAO recommends to improve professional language skills of aviation personnel. So, the analysis of the theoretical basis of the Language, which is investigated insufficiently, may ameliorate the language teaching of pilots and air traffic controllers thus raising the level of safety of flights.

Objective of the research was to analyze the antinomy of brevity and reliability which determines the functioning of the Language.

Methods of research – literature observation, structural analysis of the language, coordination of language activities.

Literature review. The features of the Language were investigated by S.V. Osadchaja (2018), some theoretical problems were tackled by S.V. Lysenko (2012, 2021, 2022), new methods of teaching were suggested by M.N. Ovsjannikova (2012).

Investigation. Communication of pilots and air traffic controllers can be conducted in conditions of lack of time or against a noisy background and thus may stipulate two main strict requirements for the Language: brevity and reliability which are secured by the opposite mechanisms of language economy and language redundancy.

The language economy is achieved by the use of elliptical phrases, shortened terms, abbreviations and special «standard words» (“Affirmative”, etc.) which help to reliably understand oral utterances. Standard words can substitute complete utterances and so lead to the economy of language means. The mechanism of language economy allows to transmit maximum information for short periods of time. The language redundancy is formed by the reiteration of words or phrases and interdependence of language elements. The Language is highly redundant due to little vocabulary, aviation terms, reiteration of some speech elements, duplication of utterances using standard words and few grammatical structures. Redundancy of the Language leads to the increase of utterances’ length and consequently the time of transmission but it guarantees a high quality of their perception by the addressee. Thus, a well-balanced correlation of the two opposite tendencies in oral speech permits to produce brief utterances and reliably apprehend them.

Conclusion. The analysis of the antinomy of brevity and reliability which characterizes the English language of aeronautical radiotelephony communications proves that the rational interaction of the two opposite linguistic features makes it the principle mechanism of the language functioning and allows to quickly transmit brief messages and correctly understand them. So, while teaching pilots and air traffic controllers it is important to use authentic texts containing both economical and redundant utterances to make the communicants use such constructions fluently and reliably in their speech. Thus, the antinomy under review allows to economize the time of radio transmissions and to

ensure the correct perception of speech even in arduous situations and as a result to increase the level of safety of flights.

Использование рационального подхода к управлению данными в процессах интеграции систем технологической подготовки и управления производством

Макаров Д.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Задачи цифровизации современных производственных предприятий, особенно в рамках актуальных сейчас процессов замещения крупных западных систем на отечественные аналоги, приводят необходимости реорганизации информационного обмена данными между указанными системами. Не смотря на наличие проработанных концепций единого информационного пространства, технологий обмена данными на протяжении жизненного цикла изделий (PLM), решения по интеграции отдельных систем тем не менее требуют для своего полноценного использования реализацию серьезных и масштабных проектов внедрения, особенно если речь идет об организации взаимодействии с системами разных производителей.

Стандартные решения по интеграции часто нацеливаются на обеспечение технической возможности организовать обмен «сходными» данными в разных системах, не уточняя суть передаваемых данных и их участие в процессах на соответствующих стадиях ЖЦ изделия. Альтернативный вариант организации взаимодействия систем автоматизации на предприятии базируется на так называемом рациональном подходе к управлению данными, предлагающем формировать потоки данных для процедур интеграции в первую очередь исходя из потребностей актуальных и перспективных бизнес-процессов в соответствующих системах.

Рассматриваемая в рамках данного доклада методика построения интерфейса, связывающего системы PDM и ERP, базируется как раз на указанном рациональном подходе, предлагая пошаговое формирование требований к массиву общих данных интегрируемых систем и процедурам их передачи, исходя из возможностей и потребностей процессов на соответствующих шагах жизненного цикла изделия. В результате обеспечивается возможность сформировать полноценное проектное решение по интеграции систем, необходимое для эффективной работы предприятия и обеспечивающие задел для дальнейшего развития.

Литература:

1. Падалко С.Н. РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ КОНСАЛТИНГА В ОБЛАСТИ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ОРГАНИЗАЦИЙ //Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 12. С. 267-270.

Using a rational approach to data management for the integration of process planning systems and production management systems

Makarov D.A.
MAI, Moscow, Russia

The tasks of digitalization of modern manufacturing enterprises, especially in the current situation of replacing large foreign systems with domestic counterparts, lead to the need to reorganize the information exchange of data between these systems. Despite the presence of well-developed concepts of a single information space, data exchange technologies throughout the product life cycle (PLM), solutions for the integration of individual systems nevertheless require the implementation of serious and large-scale projects for their full use, especially when it comes to organizing interaction with systems from different manufacturers.

Standard integration solutions are often aimed at providing the technical possibility to organize the exchange of "similar" data in different systems, without taking into account the meaning of the transferred data and their participation in the processes at the corresponding stages of the product life cycle. An alternative option for organizing the interaction of automation systems in an enterprise is based on the so-called rational approach to data management, which proposes to form data flows for

integration procedures, primarily based on the needs of current and future business processes in the respective systems.

The methodology for building an interface that connects PDM and ERP systems, considered in this report, is based precisely on the indicated rational approach, offering a step-by-step formation of requirements for an array of common data of integrated systems and procedures for their transfer, based on the capabilities and needs of processes at the corresponding steps of the product life cycle. As a result, it becomes possible to form a complete design solution for integration of systems, which is necessary for the efficient operation of the enterprise and provides a foundation for further development.

References:

1. Padalko S.N. RECOMMENDATIONS FOR CONSULTING IN THE FIELD OF INFORMATIZATION OF ORGANIZATIONS // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2018. № 12. P. 267-270.

Тенденции развития социально-трудовых отношений в условиях становления экономики знаний

Матешук А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность исследования социально-трудовых отношений на данном этапе заключается в том, что проявляют свою неэффективность такие традиционные модели социального управления как социальное развитие предприятия, основанное на патерналистских отношениях между работодателем и работниками, а также социальная политика предприятия, предполагающая партнерские коллективно-договорные отношения между работниками и администрацией предприятия.

Формирование экономики знаний сопровождается такими проявлениями как гиперконкуренция на традиционных рынках, создание новых рынков на основе инновационных продуктов, цифровизацией всех сторон жизнедеятельности общества. В инновационной экономике фирма становится носителем определённых ноу-хау и ключевой компетенции. Данные ресурсы сосредоточиваются в руках ядра специалистов, которым менеджмент передаёт значимый объем властных полномочий по принятию важнейших стратегических решений. В таких условиях существенным образом меняется внутриорганизационная среда, субординационные отношения уступают место субсидиарным, требуются новые представления о разграничении полномочий менеджмента и специалистов. Крайне востребованным становится управление знаниями. С другой стороны, преобладание проектного характера деятельности актуализирует непрерывный процесс трансформации состава команд, распространяются гибкие и краткосрочные формы трудовых отношений основной массы работников. Резко возрастает личная ответственность каждого специалиста за свою профессиональную траекторию, востребованность и готовность демонстрировать самые актуальные, в том числе, социальные компетенции. В таких условиях воспроизводство и развитие трудового потенциала становится преимущественно личным делом каждого индивида, а не предприятия. Следовательно, это предполагает наличие в обществе благоприятной социальной среды, соответствующих институтов и разнообразных форм для самообразования и развития личности, а также необходимой для прогресса научных знаний коммуникативной среды, соответствующей новому характеру труда, который становится преимущественно интеллектуальным и носит всеобщий характер. В то же время со стороны предприятий, как потребителей человеческого и социального капитала, в таких условиях безусловной становится реализация социальной ответственности по отношению к обществу в целом, участие в обеспечении воспроизводства конкурентоспособного рынка специалистов через более тесное взаимодействие со сферой образования, науки и культуры.

Trends in the development of social and labor relations in the conditions of the formation of the knowledge economy

Mateshuk A.A.
MAI, Moscow, Russia

The relevance of the study of social and labor relations at this stage lies in the fact that such traditional models of social management as the social development of the enterprise based on paternalistic relations between the employer and employees, as well as the social policy of the enterprise, involving partnership collective-contractual relations between employees and the administration of the enterprise, are showing their inefficiency.

The formation of the knowledge economy is accompanied by such manifestations as hypercompetition in traditional markets, the creation of new markets based on innovative products, digitalization of all aspects of society. In an innovative economy, a firm becomes a carrier of certain know-how and key competence. These resources are concentrated in the hands of a core of specialists, to whom management transfers a significant amount of authority to make the most important strategic decisions. In such conditions, the internal organizational environment changes significantly, subordination relations give way to subsidiary ones, new ideas about the separation of powers of management and specialists are required. Knowledge management is becoming extremely popular. On the other hand, the predominance of the project nature of the activity actualizes the continuous process of transformation of the team composition, flexible and short-term forms of labor relations of the bulk of employees are spreading. The personal responsibility of each specialist for his professional trajectory, demand and willingness to demonstrate the most relevant, including social competencies, sharply increases. In such conditions, the reproduction and development of labor potential becomes primarily a personal matter of each individual, not an enterprise. Consequently, this presupposes the presence in society of a favorable social environment, appropriate institutions and various forms for self-education and personal development, as well as the communicative environment necessary for the progress of scientific knowledge, corresponding to the new nature of work, which is becoming predominantly intellectual and universal. At the same time, on the part of enterprises, as consumers of human and social capital, in such conditions, the realization of social responsibility towards society as a whole becomes unconditional, participation in ensuring the reproduction of a competitive market of specialists through closer interaction with the sphere of education, science and culture.

Время трансформации: динамика рынка российских авиаперевозок в 2022 году. Тенденции и перспективы

Мезина Н.А., Асеева В.А.
МАИ, г. Москва, Россия

В период с 2019-2022 года российская авиация переживает скачкообразную динамику пассажирооборота как на внутренних, так и международных воздушных линиях. Постоянные социальные изменения, затрагивающие как отдельные страны, так и Россию в частности, объясняют актуальность выбранной темы.

За основу рассмотренного показателя авиаперевозок выбран пассажирооборот авиалиний России в динамике за последние годы. Пассажирооборот —это величина, показывающая объём перевезенных пассажиров в пассажирокилометрах и рассчитывается как произведение количества пассажиров на расстояние перевозок.

В сравнении с 2019 годом, в 2021 году процент пассажирооборота на международных воздушных линиях упал на 59%, в то время как на внутренних воздушных линиях он увеличился на 22,9%. По общим показателям пассажирооборот упал на 24,7%. Нельзя не заметить, что ковидные ограничения сказались на авиаперевозках России.

Пассажиропоток с января по май 2022 года уменьшился на 4,2% с 33 до 31,6 млн. человек у российских авиалиний по сравнению прошлым годом. А пассажирооборот увеличился на 8,8% с 67, 2 до 73,1 млн. пассажирокилометров. Эти данные дают нам основания говорить, что пассажиров стало незначительно меньше, но летать они стали на более дальние дистанции.

Пассажирооборот в 2022 составляет около 206,8 млрд пассажирокилометров (уменьшение на 15%). Эксперты предполагают, что скоро будет небольшой рост пассажирооборота, который к 2025 году составит 213,1 млрд пассажирокилометров.

Россия отвечает оперативными действиями на появляющиеся новые препятствия. На сегодняшний день налаживается технологическое сотрудничество с Китаем и делается упор на технику и разработку новых технологий собственного производства, поэтому новые западные авиасанкции становятся все менее значимыми для российской авиации.

Time of transformation: dynamics of the Russian air transportation market in 2022. Trends and prospects

Mezina N.A., Asseva V.A.
MAI, Moscow, Russia

In the period from 2019-2022, Russian aviation is experiencing a jump-like dynamics of passenger turnover on both domestic and international air lines. Constant social changes affecting both individual countries and Russia in particular explain the relevance of the chosen topic.

The passenger turnover of Russian airlines in recent years has been chosen as the basis for the considered indicator of air transportation. Passenger turnover is a value showing the volume of passengers transported in passenger kilometers and is calculated as the product of the number of passengers by the distance of transportation.

In comparison with 2019, in 2021, the percentage of passenger turnover on international air lines fell by 59%, while on domestic air lines it increased by 22.9%. According to general indicators, passenger turnover fell by 24.7%. It is impossible not to notice that covid restrictions have affected air transportation in Russia.

Passenger traffic from January to May 2022 decreased by 4.2% from 33 to 31.6 million people at Russian airlines compared to last year. And passenger turnover increased by 8.8% from 67.2 to 73.1 million passenger kilometers. These data give us reason to say that there are slightly fewer passengers, but they began to fly longer distances.

Passenger turnover in 2022 is about 206.8 billion passenger kilometers (a decrease of 15%). Experts suggest that there will soon be a slight increase in passenger turnover, which by 2025 will amount to 213.1 billion passenger kilometers.

Russia responds promptly to emerging new obstacles. To date, technological cooperation with China is being established and emphasis is being placed on equipment and the development of new technologies of its own production, therefore, new Western aviation sanctions are becoming less and less important for Russian aviation.

Эллиптические конструкции в английских текстах авиационной тематики

Мельдианова А.В., Лелюк С.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность. Проблема эллипсиса длительное время привлекает внимание отечественных и зарубежных лингвистов. Литература по данной теме свидетельствует о разнообразии точек зрения и нерешенности многих вопросов. В частности, противоречивым является понятие и сущность эллипсиса в современном английском языке, соотношение терминов «эллипсис» и «эллиптический». В лингвистической литературе нет единого мнения на разграничение эллиптических языковых конструкций, а также неполных и односоставных предложений.

Цель. Целью данного исследования является изучение эллиптических конструкций в современном английском языке на материале текстов авиационной направленности.

Исследование. Изучение тенденций развития данного языкового явления показало, что одной из основных причин возникновения эллиптических конструкций является необходимость экономии языковых средств. В случае эллипсиса отсутствующий элемент легко восстанавливается из контекста, восполнение производится на основании синтагматических и парадигматических связей. Среди других функций, присущих эллиптическим предложениям, можно отметить имитацию неформального общения, краткий ответ, переспрашивание информации, пояснение, приказ или призыв к действию.

Эллиптические конструкции встречаются в текстах различных функциональных стилей, главным образом в разговорной речи (в частности, в рамках диалога). В художественной литературе эллипсис используется как стилистическое средство для придания большей выразительности тексту.

Среди эллиптических конструкций в текстах авиационной тематики были выявлены предложения с нулевым подлежащим, выраженным личным местоимением или вводящим it; конструкции с невыраженным вспомогательным сказуемым и именной частью составного сказуемого, а также с невыраженным полнозначным глаголом; предложения с эллиптированным вводным оборотом, конструкции с нулевой формой неполнозначных глаголов.

Вывод. Эллиптические конструкции активно применяются в современно английском языке. Данное явление характерно для сегодняшнего мира, где скорость передачи информации возрастает с каждым днем. При этом, изучаемое языковое явление находит свое применение не только в речевой коммуникации, но и в публицистических текстах, телевизионной коммуникации, при общении в сети Интернет.

Elliptical constructions in English aviation texts

Meldianova A.V., Lelyuk S.V.
MAI, Moscow, Russia

Relevance. The problem of ellipsis has been attracting the attention of Russian and foreign linguists for a long time. The literature on this topic testifies to the diversity of opinions and the unresolved nature of many issues. In particular, the concept and the essence of ellipsis in Modern English, the relation of the terms "ellipsis" and "elliptical" are contradictory. There is no agreement in the linguistic literature on the distinction between elliptical language constructions, as well as incomplete and one-member sentences.

The aim of this scientific research is to study elliptical constructions in Modern English on the basis of aviation-related texts.

The study of trends in the development of this linguistic phenomenon has shown that one of the main reasons for the emergence of elliptical constructions is the need to save language resources. In the case of an ellipsis, the missing element is easily restored from the context on the basis of syntagmatic and paradigmatic connections. Among other functions inherent to elliptical sentences, one can note the imitation of informal communication, the necessity to give a short answer, to ask for information or to explain the information, to express an order or to call to action

Elliptical constructions are found in texts of various functional styles, mainly in colloquial speech (in particular, in dialogues). In fiction ellipsis is mainly used as a stylistic means to give greater expressiveness to the text. In this scientific research, elliptical constructions are analyzed on the basis of aviation-related texts.

Among the elliptical constructions in the studied texts, there are sentences with zero subject, with an expressed personal pronoun or an introductory it; constructions with an unexpressed auxiliary predicate and a nominal part of a compound predicate, as well as with an unexpressed notional verb; sentences with an elliptical introductory word, constructions with a zero form of an functional verb.

Conclusion. Elliptical constructions are widely used in Modern English. This phenomenon is characteristic of today's world, where the speed of information transmission is increasing every day. At the same time, the studied linguistic phenomenon finds its application not only in speech communication, but also in texts of publicist style, in television communication, on the Internet.

Особенности проведения специальной оценки условий труда экипажей гражданских воздушных судов

Мессинева Е.М., Фетисов А.Г.
МАИ, г. Москва, Россия

Особенности условий труда пилотов воздушных судов затрудняют объективное проведение СОУТ на их рабочих местах. Это связано с тем, что летный состав экипажей гражданских судов работает в особых условиях труда, их здоровье подвержено влиянию целого комплекса

вредных факторов, в том числе специфических, связанных с отрывом человека от Земли. К таким факторам относятся, например, измененная гравитация и значительные перепады атмосферного давления.

К факторам, отрицательно влияющим на состояние летного состава, также относятся регулярное пребывание в состоянии нервно-эмоциональной напряженности и хронического эмоционального стресса, связанного со сложностью управления воздушным судном, систематические нарушения режима сна и отдыха. Кроме того, в процессе полета у членов экипажей могут возникать дезориентация, иллюзии, пароксизмы сознания, фобии и др., которые постепенно снижают возможности психической компенсации летчиков.

Таким образом, большая часть вредных факторов, воздействующих на представителей летного состава, не формируется непосредственно на рабочих местах (в кабинах пилотов), а связано, прежде всего, с характером летного труда, включая повышенные сенсорные нагрузки, а также с воздействием внешней воздушной среды.

К сожалению, на сегодняшний день провести объективную оценку сенсорных нагрузок пилота на рабочем месте не представляется возможным. Проведение такой оценки по стандартной методике не учитывает специфические особенности трудового процесса у представителей летного состава гражданских судов, поскольку реальные значения сенсорных нагрузок у них зачастую значительно превышают максимальные установленные значения. Все вышеперечисленное может приводить к значительному падению уровня профессиональной надежности летного состава и, соответственно, безопасности полетов.

В настоящий момент для оценки всех вредных и опасных факторов присутствующих в воздушной среде и на рабочем месте членов экипажей, подготовлен проект приказа Минтруда «Об утверждении особенностей проведения специальной оценки условий труда на рабочих местах членов летных и кабинных экипажей воздушных судов гражданской авиации», который необходимо доработать с учетом требований представителей профсоюза летного состава России и принять как можно скорее. Четкие требования по проведению и организации СОУТ экипажей воздушных судов позволять существенно повысить уровень безопасности полетов самолетов гражданской авиации.

Specific features of the special assessment of working conditions for civil aircraft crews

Messineva E.M., Fetisov A.G.
MAI, Moscow, Russia

The specific features of working conditions of aircraft pilots make it difficult to carry out objective OSHA at their workplaces. This is connected with the fact that civil aircraft crews work in special working conditions, their health is affected by a number of harmful factors, including those specific to the human separation from the Earth. Such factors include, for example, altered gravity and significant variations in atmospheric pressure.

Factors, negatively affecting the flying staff also include regular presence in a state of nervous-emotional pressure and chronic emotional stress, connected with complexity of aircraft control, systematic sleep and rest regime disorders. Besides, flight crew members may experience disorientation, delusions, paroxysms of consciousness, phobias, etc., which gradually reduce the pilot's mental compensation capabilities.

Thus, most of the harmful factors affecting the flight personnel are not formed directly in the workplace (in the pilot's cabin), but primarily related to the character of flight work, including increased sensory loads, as well as the impact of the external air environment.

Unfortunately, today it is not possible to make an objective assessment of pilot's sensory stresses in the workplace. Such assessment according to the standard methodology does not take into account the working process specifics of civil aviation pilots, because their actual sensory pressures are often much higher than the maximum established values. These factors can lead to a significant decrease in the flight personnel's professional reliability and, consequently, flight safety.

Currently, in order to evaluate all harmful and dangerous factors existing in the air and in the crews' working environment, the project of the Order of the Ministry of Labour " On approval of the specification of the special assessment of the working places of the flight and cabin crews of civil

aviation aircraft" has been prepared, which should be finalized considering the requirements of the representatives of the Russian aviation personnel trade union and adopted as soon as possible. The clear-cut requirements for conducting and organizing the special assessment of working conditions for civil aviation flight crews will allow to increase considerably the safety level of civil aviation aircraft flights.

Управление потенциалом маркетинговых коммуникаций авиастроительных предприятий

Михайлова Л.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Цифровая трансформация авиастроения в условиях реализации политики импортозамещения порождает новые форматы маркетинговых коммуникаций. Коммуникационный потенциал предприятия включает в себя потенциал маркетинговой информационной системы предприятия и интеллектуальный потенциал предприятия. В сложных современных условиях коммуникационный и интеллектуальный потенциалы являются ключевыми инновационными ресурсами предприятий [1]. Динамика интеллектуального потенциала позволяет оценивать развитие инновационных процессов высокотехнологичных предприятий [2]. Адекватная оценка динамики развития интеллектуального потенциала даёт возможность существенно увеличить стоимость предприятия и эффективность реализуемых инновационных проектов [3]. По данным Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС), нематериальные активы, включая интеллектуальную собственность, обеспечивают более 90% созданной добавленной стоимости высокотехнологичной продукции, для которой значительная часть стоимости создаётся на этапе НИОКР.

На основе анализа специфических особенностей авиастроительных компаний автором была разработана модель развития важнейшей составляющей коммуникационного потенциала предприятия, а именно интеллектуального потенциала предприятия. Данная модель предполагает формирование интеллектуальных кластеров на каждой стадии жизненного цикла инновационного продукта и позволяет анализировать во времени создание как интеллектуального потенциала в целом, так и его составляющих. Создаваемая при этом многопользовательская база данных позволит повысить эффективность инновационной деятельности компании, сохранить и приумножить научно-технический опыт. Полученная модель даёт возможность повысить эффективность управления интеллектуальным и коммуникационным потенциалами компании и прогнозировать в краткосрочной перспективе направления их развития с учётом стратегических приоритетов авиастроительных предприятий.

Предлагаемая модель динамики интеллектуального потенциала во времени носит универсальный характер и может использоваться при управлении интеллектуальными ресурсами не только в конкретных авиастроительных компаниях, но и на любых высокотехнологичных инновационно активных предприятиях, поскольку данная модель может быть построена для любого инновационного процесса, в ходе которого создаются продукты. В итоге это будет способствовать как наращиванию коммуникационного потенциала маркетинга, так и развитию авиастроительных предприятий в целом.

Литература:

1. Зинченко А.С., Михайлова Л.В., Сазонов А.А. Основные элементы механизма управления интеллектуальным капиталом // Вестник университета. 2018. № 10. С. 23-27.

2. Лазарев В.Ю., Стебеняева Т.В., Худолей Г.С. Интеллектуальный потенциал предприятия: определения, понятия экономической сущности и структуры // Экономика и бизнес: теория и практика. 2019. № 6-2. С. 9-14.

3. Сазонов А.А., Сазонова М.В. Механизмы оценки стоимости интеллектуального капитала высокотехнологичного предприятия в условиях инновационной экономики // Инновации и инвестиции. 2020. №7. С.18-21.

Managing the potential of marketing communications of aircraft manufacturing enterprises

Mikhailova L.V.
MAI, Moscow, Russia

The digital transformation of the aircraft industry in the context of the implementation of the import substitution policy generates new formats of marketing communications. The communication potential of the enterprise includes the potential of the marketing information system of the enterprise and the intellectual potential of the enterprise. In difficult modern conditions, communication and intellectual potentials are the key innovative resources of enterprises [1]. The dynamics of intellectual potential makes it possible to assess the development of innovative processes of high-tech enterprises [2]. An adequate assessment of the dynamics of intellectual potential development makes it possible to significantly increase the value of the enterprise and the effectiveness of implemented innovative projects [3]. According to the World Intellectual Property Organization (WIPO), intangible assets, including intellectual property, provide more than 90% of the value added of high-tech products, for which a significant part of the value is created at the R&D stage.

Based on the analysis of the specific features of aircraft manufacturing companies, the author has developed a model for the development of the most important component of the communication potential of the enterprise, namely the intellectual potential of the enterprise. This model assumes the formation of intellectual clusters at each stage of the life cycle of an innovative product and allows analyzing the creation of both the intellectual potential as a whole and its components over time. The multi-user database created in this way will increase the efficiency of innovation activities of the company, preserve and increase scientific and technical experience. The resulting model makes it possible to increase the efficiency of managing the intellectual and communication potentials of the company and predict in the short term the directions of their development, taking into account the strategic priorities of aircraft manufacturing enterprises.

The suggested model of the dynamics of intellectual potential over time is universal and can be used in the management of intellectual resources not only in specific aircraft manufacturing companies, but also at any high-tech innovatively active enterprises, since this model can be built for any innovation process during which products are created. As a result, this will contribute both to building up the communication potential of marketing and to the development of aircraft manufacturing enterprises as a whole.

References:

1. Zinchenko A.S., Mikhailova L.V., & Sazonov A.A. (2018) The main elements of the intellectual capital management mechanism. Bulletin of the University, 10, pp. 23-27.

2. Lazarev V.Yu., Stebenyaeva T.V., & Khudolei G.S. (2019) Intellectual potential of an enterprise: definitions, concepts of economic essence and structure. Economics and Business: theory and practice, 6-2, pp. 9-14.

3. Sazonov A.A., & Sazonova M.V. (2020) Mechanisms for assessing the value of intellectual capital of a high-tech enterprise in the conditions of an innovative economy. Innovations and investments, 7, pp.18-21.

Коммуникативные умения как междисциплинарный элемент образовательных программ для технических и экономических специальностей

Муравьева Н.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность данной работы в том, что при обновлении федеральных образовательных стандартов, введении единых универсальных компетенций и дисциплин, их формирующих, нередко возникает необоснованное нарушение баланса между гуманитарными, естественно-научными и узкоспециальными дисциплинами.

Целью данного исследования является анализ последствий указанного дисбаланса, в частности, утраты коммуникативной компоненты в обучении. Данные последствия были рассмотрены на примере исключения из учебных планов для технических и экономических специальностей дисциплины «Русский язык и культура речи»

Обзор и проблемы исследования. Теоретических исследований на тему коммуникативной компетентности более чем достаточно [Гилязова Д.Р., Матьяш О.И., Муравьева Н.В., Решетова О.И., В. А. Тищенко В.А., Фомина А.С., Ширяева К., Шубкина О.Ю. и др.]. В этих работах определяется понятие коммуникативной компетентности, ее значимость и компоненты (знания, умения и навыки). Но образовательная реальность оторвана от этой теории из-за неясности в понимании сути коммуникативных умений, отсутствия результативной методики обучения, позволяющей формировать такие умения у студентов технических и экономических специальностей.

Для изучения выделенных проблем в рамках дисциплины «Русский язык и культура речи» в течение семестра был проведен эксперимент, участниками которого стали студенты 1 курса разных факультетов и направлений подготовки МАИ. При этом студенты основных групп в дополнение к традиционной программе осваивали коммуникативные умения, а студенты контрольных групп изучали только традиционную программу. Результаты эксперимента (они оценивались в баллах) показали повышение уровня коммуникативных умений только в основных группах. Таким образом, можно утверждать, что при «школьном» взгляде на преподавание русского языка, где главная цель – это грамотная речь, мы упускаем связь профессионально-ориентированного языка с коммуникативными умениями. Общая установка при наличии такой связи такова: студенты должны занять позицию пользователей (не филологов, лингвистов), для которых язык (родной или иностранный) является инструментом для создания и восприятия текстов в самых разных ситуациях.

Возможное решение обозначенных проблем мы видим либо в сохранении дисциплины «Русский язык и культура речи» (при существенном обновлении программы), либо в создании базового коммуникативного курса, в котором описываются основные понятия эффективной коммуникации и вырабатываются умения, необходимые для такой коммуникации. А далее эти же умения многократно используются, отрабатываются студентами при изучении естественно-научных, гуманитарных и узкоспециальных дисциплин.

Вывод: перестраивая учебные планы для технических и экономических специальностей, важно искать пути к эффективному образованию, в том числе, через повышение коммуникативной культуры студентов неязыкового вуза.

Communication skills as an interdisciplinary element of educational programs for technical and economic specialties

Myravyova N.V.
MAI, Moscow, Russia

The relevance of this study is that when updating federal educational standards, introducing unified universal competencies and disciplines that form them, there is often an unjustified violation of the balance between the humanities, natural sciences and highly specialized disciplines.

The purpose of this study is to analyze the consequences of this imbalance, in particular, the loss of the communicative component in learning. These consequences were considered on the example of exclusion from the curricula for technical and economic specialties of the discipline "Russian language and speech culture"

Review and research problems. There are more than enough theoretical studies on the topic of communicative competence [Gilyazova D.R., Matyash O.I., Muravyova N.V., Reshetova O.I., V.A. Tishchenko V.A., Fomina A.S., Shiryaeva K., Shubkina O.Yu. and etc.]. These studies define the concept of communicative competence, its significance and components (knowledge, skills and abilities). But the educational reality is divorced from this theory, including because of the ambiguity in understanding the essence of communicative skills, the lack of an effective teaching methodology, allowing students of technical and economic specialties to form such skills.

To study the identified problems within the framework of the discipline "Russian language and speech culture", an experiment was conducted during the semester, the participants of which were 1st year students from different faculties and areas of study of the MAI. At the same time, students of the main groups, in addition to the traditional program, mastered communication skills, and students of the control groups studied only the traditional program. The results of the experiment

(they were evaluated in points) showed an increase in the level of communication skills only in the main groups. Thus, it can be argued that with a "school" view of the teaching of the Russian language, where the main goal is sufficient, grammatically correct command of Russian language. we miss motivational moments that suggest the connection of a professionally oriented language with communicative skills. Considering this connection: students should take the position of users (not philologists, linguists) for whom the language (native or foreign) is a tool for creating and perceiving texts in a variety of situations.

We see a possible solution to the identified problems either in maintaining the discipline "Russian language and speech culture" (with a significant update of the program), or in creating a basic communication course that describes the basic concepts of effective communication and develops the skills necessary for such communication. Then the same skills are repeatedly used and practiced by students when studying of natural sciences, the humanities and highly specialized disciplines.

Conclusion: restructuring the curricula for technical and economic specialties it is important to look for ways to effective education, increasing the communicative culture of students of a non-linguistic university.

Применение «Task-based learning» при обучении английскому языку студентов технологических специальностей МАИ

Неверова Н.В., Иванова Г.А., Никольская Е.Э., Галюк Н.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность-метод обучения иностранному языку на основе поставленных задач «task-based learning» базируется на коммуникативной методике, которая в свою очередь положена в основу почти всех учебных российских и международных курсов и издательств.

Обзор. В исследовательских работах российских и зарубежных педагогов Е. И. Пассова, Р. П. Мильруд, A.Maley, A. Duff совершенствование методики. Но суть остается прежней - продуманная система навыков, знаний и умений, изучаемые через ситуации.

Изучение иностранного языка играет важную роль при становлении современного специалиста. Но на преподавание этого предмета в аудиторной сетке занятий заложено слишком мало часов. И специалисты-педагоги исследуют различные эффективные подходы, чтобы разрешить создавшуюся ситуацию. Один из них «task-based learning», применяемый на занятиях по иностранному языку в МАИ - новизна нашего исследования.

Гипотеза -использование этого метода в курсе преподавания английского языка при профессионально-ориентированном подходе в техническом вузе, позволит создать полноценную мотивацию, учитывая индивидуальные и, прежде всего, личностные свойства студента: его жизненный опыт, эмоциональную сферу, мировоззрение, склонности, интересы, и расширить аспекты: познавательный, развивающий, воспитательный и учебный.

Цель- методическая разработка заданий в обучении иностранному языку на основе профессионально ориентированного подхода в авиационном институте.

Задачи: проанализировать и систематизировать информацию на обозначенную тему; разработать модель коммуникативной установки в иноязычном речевом общении; подготовить материалы для формирования коммуникативной готовности учащихся к иноязычному общению; разработать критерии оценки коммуникативной готовности учащихся к иноязычному общению.

Объект исследования: обучение студентов английскому языку технологических специальностей МАИ.

Предмет исследования: применение task-based learning в преподавании иностранного языка.

Иноязычное образование имеет четыре аспекта: познавательный (познание иностранной культуры и языка как ее компонента), развивающий (развитие всевозможных способностей и речемыслительных механизмов), воспитательный (воспитание нравственных качеств личности) и учебный (овладение умениями говорить, читать, писать на иностранном языке), что отмечено в работах многих российских и зарубежных авторов. На практических занятиях по английскому языку студентов МАИ необходимо учитывать их технологическую авиационную направленность. Для мотивации обучающихся авторами предлагается модель

коммуникативного обучения, содержащая установки: дискурсивную, интеллектуальную и личностную. Метод обучения на основе поставленных задач «task-based learning» - является вариативностью коммуникативного подхода. На основании критериев и индикаторов можно проверить его эффективность. При этом компонентами могут являться: коммуникативная готовность обучающихся, системные знания, языковые навыки, речевые умения, компенсаторные стратегии, критерии оценивания: системность, прочность, продуктивность, уместность. Индикаторы: связи элементов, ошибки речи, решение задачи, полезность.

Выводы: на основе разработанной модели использование «task-based learning» в курсе преподавания английского языка при профессионально-ориентированном подходе в техническом вузе позволит существенно расширить профессиональный кругозор, активный профессиональный вокабуляр, коммуникативные навыки на иностранном языке.

The use of "task-based learning" in teaching English to students of technological specialties of MAI

Neverova N.V., Ivanova G.A., Nikolskaya E.E., Galyuk N.A.
MAI, Moscow, Russia

Relevance-the method of teaching a foreign language based on the set tasks "task-based learning" is based on a communicative methodology, which in turn is the basis of almost all educational Russian and international courses and publishing houses.

Review.

In the research works of Russian and foreign teachers E. I. Passov, R. P. Milrud, A.Maley, A. Duff improving the methodology. But the essence remains the same - a well-thought-out system of skills, knowledge and skills, studied through situations

Learning a foreign language plays an important role in the formation of a modern specialist. But there are too few hours in the classroom schedule for teaching this subject. And specialist educators are exploring various effective approaches to resolve the situation. One of them is "task-based learning", used in foreign language classes at MAI - the novelty of our research.

The hypothesis is that the use of this method in the course of teaching English with a professionally oriented approach at a technical university will create a full-fledged motivation, taking into account the individual and, above all, the personal characteristics of the student: his life experience, emotional sphere, worldview, inclinations, interests, and expand the aspects: cognitive, developmental, educational and educational.

The goal is the methodical development of tasks in teaching a foreign language based on a professionally oriented approach at the Aviation Institute.

Tasks: analyze and systematize information on the designated topic; to develop a model of communicative attitude in foreign language speech communication; using the task-based learning method to prepare materials for the formation of students' communicative readiness for foreign language communication; develop criteria for assessing students' communicative readiness for foreign language communication.

Object of research: teaching students English of technological specialties of MAI.

Subject of research: the use of task-based learning in teaching a foreign language.

Foreign language education has four aspects: cognitive (cognition of foreign culture and language as its component), developmental (development of various abilities and speech-thinking mechanisms), educational (education of moral qualities of a person) and educational (mastering the skills to speak, read, write in a foreign language), which is noted in the works of many Russian and foreign authors. During practical classes in English for MAI students, it is necessary to take into account their technological aviation orientation. To motivate students, the authors propose a model of communicative learning containing attitudes: discursive, intellectual and personal. The task-based learning method of learning based on the tasks set is a variation of the communicative approach. Based on criteria and indicators, you can check its effectiveness. At the same time, the components can be: communicative readiness of students, system knowledge, language skills, speech skills, compensatory strategies, evaluation criteria: consistency, strength, productivity, relevance. Indicators: element connections, speech errors, problem solving, usefulness.

Conclusions: based on the developed model, the use of "task-based learning" in the course of teaching English with a professionally oriented approach at a technical university will significantly expand professional horizons, active professional vocabulary, communication skills in a foreign language.

Управление персоналом предприятий авиационной индустрии в условиях цифровой экономики

Пронина В.А.
МАИ, г. Москва, Россия

HR-индустрия на настоящий момент уделяет большое внимание автоматизации ключевых процессов бизнеса и, как следствие, созданию цифровой рабочей среды. Цифровизация – уже не туманная перспектива, а неотъемлемая часть жизни современного общества. Поэтому, современные технологические решения изменили сами базовые принципы работы большинства предприятий.

В настоящее время в сфере HR используется большое количество цифровых инструментов, которые помогают специалистам динамично отслеживать любые изменения в работе персонала компании. Это связано с тем, что руководители высокотехнологичных предприятий авиационной и ракетно-космической промышленности должны активно реагировать на изменения во внешней и экономической средах. Из этого следует, что термин «Высокая технология» – это, прежде всего, использование передовых инновационных разработок, обеспечивающих в перспективном и стратегическом периодах времени высокую экономическую, финансовую, организационную и социальную эффективность.

Далее стоит отметить, что «цифровизация» не оставила без внимания такой сектор, как авиастроение. На настоящий момент в Госкорпорацию Ростех входит ряд высокотехнологичных предприятий Объединенной авиастроительной корпорации (ОАК), таких как Компании «Сухой», «МиГ», «Иркут», «Туполев», «ОАК-Транспортные самолеты».

Но в рассматриваемом случае, одной из главных проблем, с которыми сталкивается персонал, можно назвать отсутствие обратной связи и тем самым, выявить проблему адекватной оперативной оценки эффективности работы сотрудников. Одним из наиболее эффективных способов решения проблемы можно назвать внедрение в корпоративную online-систему предприятия или подключении специализированного ПО для смартфона идеологию опроса «Gallup Q12». Данный опросник позволяет оценить уровень вовлеченности, а значит, в том числе, и продуктивности персонала компании в целом, подразделения или же отдельного сотрудника. Как и любой диагностический инструмент, данный опросник позволяет наметить пути улучшения существующей ситуации. В данном случае – разработать меры повышения вовлеченности персонала. Для уменьшения затрат временного ресурса персонала и поддержания актуального уровня степени их вовлеченности рекомендуется проводить данный опрос еженедельно, предварительно разделив вопросы по группам.

Тем самым, можно сделать вывод о том, что цифровизация в сфере HR, является наиболее эффективным способом для решения проблем, экономии такого ресурса как время, как говорилось выше, а также, минимизирует риски человеческой ошибки и повышает эффективность человеческого ресурса.

Литература:

1. Пронина В.А., Тихонов А.И. Управление персоналом высокотехнологичных предприятий в условиях цифровой экономики. Московский экономический журнал. 2022. т. 7. № 7.

2. Строев В.В., Тихонов А.И. Инструмент по карьерному развитию персонала на предприятиях аэрокосмической отрасли. Московский экономический журнал. 2022. т. 7. № 7.

3. Строев В.В., Тихонов А.И. Анализ использования чат-бота как инструмента онлайн-обучения персонала. Московский экономический журнал. 2022. т. 7. № 6.

Personnel Management in the Aviation Industry in the Digital Economy

Pronina V.A.
MAI, Moscow, Russia

The HR industry is currently paying great attention to the automation of key business processes and, as a consequence, to the creation of a digital work environment. Digitalization is no longer a nebulous prospect, but an integral part of life in modern society. Therefore, modern technological solutions have changed the very basic operating principles of most businesses.

A large number of digital tools are now being used in HR to help professionals dynamically keep track of any changes in a company's workforce. This is due to the fact that managers of high-tech enterprises in the aviation and rocket and space industries must actively respond to changes in the external and economic environment. It follows that the term "High-tech" means, first of all, the use of advanced innovative developments, providing high economic, financial, organizational and social efficiency in the perspective and strategic periods of time.

Further, it is worth noting that "digitalization" has not neglected such a sector as aircraft engineering. At the moment, Rostec State Corporation includes a number of high-tech enterprises of the United Aircraft Corporation (UAC), such as Sukhoi, MiG, Irkut, Tupolev, and UAC-Transport Aircraft.

But in the case under consideration, one of the main problems faced by the personnel is the lack of feedback and, thus, to reveal the problem of adequate operative evaluation of the employees' efficiency. One of the most effective ways to solve the problem can be called the introduction of a corporate online system of the company or connecting a specialized software for smartphone survey ideology "Gallup Q12". This questionnaire allows you to assess the level of engagement, and therefore, including the productivity of the company as a whole, department or individual employee. Like any diagnostic tool, this questionnaire allows us to outline ways of improving the current situation. In this case – to develop measures to increase personnel involvement. In order to reduce the costs of time resources of the personnel and maintain the current level of their engagement it is recommended to conduct this survey on a weekly basis, having divided the questions into groups beforehand.

Thus, we can conclude that digitalization in the field of HR, is the most effective way to solve problems, saving such a resource as time, as mentioned above, and also, minimizes the risks of human error and increases the efficiency of human resources.

References:

1. Pronina V.A., Tikhonov A.I. Personnel management of high-tech enterprises in the digital economy. Moscow Economic Journal. 2022. т. 7. № 7.

2. Stroev V.V., Tikhonov A.I. Tool for career development of personnel at the enterprises of the aerospace industry. Moscow Economic Journal. 2022. т. 7. № 7.

3. Stroev V.V., Tikhonov A.I. Analysis of the use of chat-bot as a tool for online personnel training. Moscow Economic Journal. 2022. т. 7. № 6.

Специфика вводного обучения персонала на авиационных предприятиях

[1]Просвирина Н.В., [2]Козлова Е.Г.
[1]МАИ, [2]МГОУ, г. Москва, Россия

В настоящее время кадровая политика предприятий авиационной промышленности направлена на поиск и удержание высококвалифицированных специалистов. Руководители предприятий стараются по максимуму укомплектовать свой штат сотрудниками, в которых они уверены и могут на них положиться на все 100%. Этому способствует проведение вводного обучения (процесс обмена знаниями и обоюдного обогащения опытом между сотрудником и руководителем, который поможет работнику быстрее адаптироваться в организации в целом и в коллективе, с которым ему предстоит работать).

При проведении вводного обучения и вовлечения нового персонала в работу опытный работодатель обязан:

1) Ознакомить с рабочим местом, на котором предстоит работать новому сотруднику;

2) Познакомить с коллективом предприятия;

3) Провести инструктаж по технике безопасности при эксплуатации техники, с которой ему предстоит работать;

4) Рассказать историю и традиции компании;

5) Ознакомить работника с его непосредственными обязанностями (должностной инструкцией).

Правильное построение вводного обучения – основополагающий этап для быстрой адаптации и правильной оценки работника на его новом месте работы. В течение учебного времени следует установить контрольные точки в виде практических вопросов, тестов, кейсов, с которыми новичок должен справиться. Эффективнее всего при оценке результатов на данном этапе использовать специализированное программное обеспечение, которое дает возможность отследить скорость прохождения материала и автоматизировать процесс тестирования и решения кейсов.

На последующем этапе очень важно прикрепить к новому сотруднику заинтересованного и грамотного наставника, который мог бы на практике корректировать его ошибки, а также ежедневно давать обратную связь о процессе адаптации в службу управления персоналом и руководителю.

В конце программы вводного обучения обязательно должно состояться оценочное мероприятие, которое будет являться экзаменом на право самостоятельной работы. Его формат будет частично зависеть от специфики работы сотрудника и его обязанностей, но в целом оно должно быть унифицировано, занимать немного времени и давать возможность комплексной оценки знаний и навыков новичка (в предметной части, а также с точки зрения адаптации в коллективе). Форматы окончательного экзамена работника могут быть совершенно разными в зависимости от требований руководителя к результатам вводного обучения (ролевые игры, метод кейсов, деловые игры, тестирование и др.)

К факторам успешной программы вводного обучения можно отнести:

1) Формирование четких требований и критериев отбора кандидатов на вакантную должность.

2) Поощрение наставников, которые берут на обучение новых сотрудников организации.

3) Четко сформулированный план обучения нового сотрудника и его скорейшей адаптации на новом месте работы.

4) Гибкая связь с руководителем.

Вводное обучение – основополагающий этап для начала работы любого нового сотрудника на авиационном предприятии, позволяющий руководителю оценить степень готовности новичка к самостоятельной и качественной работе.

Литература:

1. Просвирина Н.В., Тихонов А.И. Повышение конкурентоспособности авиационного предприятия за счет эффективного управления трудовыми ресурсами // Экономика и предпринимательство. 2018. № 10 (99). С. 622-628.

2. Просвирина Н.В., Тихонов А.И. Интегрированный подход в подготовке и развитии персонала на предприятиях авиационной отрасли // Финансовая экономика. 2018. № 7. С. 202-205.

Specifics of introductory training of personnel at aviation enterprises

[1]Prosvirina N.V., [2]Kozlova E.G

[1]MAI, [2]MRSU, Moscow, Russia

Currently, the personnel policy of aviation industry enterprises is aimed at finding and retaining highly qualified specialists. Business leaders try to staff their staff to the maximum with employees in whom they are confident and can rely on them 100%. This is facilitated by introductory training (the process of sharing knowledge and mutual enrichment of experience between the employee and the manager, which will help the employee to quickly adapt to the organization as a whole and to the team with which he will work).

When conducting introductory training and involving new personnel in the work, an experienced employer must:

1) Familiarize yourself with the workplace where the new employee will work;
2) To acquaint with the staff of the enterprise;
3) Conduct a safety briefing during the operation of the equipment with which he will work;
4) Tell the history and traditions of the company;
5) Familiarize the employee with his immediate duties (job description).

The correct construction of introductory training is a fundamental step for quick adaptation and correct assessment of an employee in his new job. During the study time, checkpoints should be set in the form of practical questions, tests, cases that the beginner must cope with. When evaluating the results at this stage, it is most effective to use specialized software that makes it possible to track the speed of passing the material and automate the process of testing and solving cases.

At the next stage, it is very important to attach an interested and competent mentor to the new employee, who could correct his mistakes in practice, as well as give daily feedback on the process of adaptation to the personnel management service and the manager.

At the end of the introductory training program, an evaluation event must be held, which will be an exam for the right to work independently. Its format will partly depend on the specifics of the employee's work and his duties, but in general it should be unified, take a little time and provide an opportunity for a comprehensive assessment of the beginner's knowledge and skills (in the subject matter, as well as in terms of adaptation in the team). The formats of the final exam of an employee can be completely different depending on the requirements of the manager for the results of introductory training (role-playing games, case method, business games, testing, etc.)

Factors for a successful introductory training program include:
1) Formation of clear requirements and criteria for the selection of candidates for a vacant position.
2) Encouragement of mentors who take on the training of new employees of the organization.
3) A clearly formulated plan for training a new employee and his early adaptation to a new job.
4) Flexible communication with the leader.

Introductory training is a fundamental stage for the start of work of any new employee at an aviation enterprise, allowing the manager to assess the degree of readiness of a beginner for independent and high-quality work.

References:

1. Prosvirina N.V., Tikhonov A.I. Increasing the competitiveness of an aviation enterprise through effective management of labor resources // Economics and Entrepreneurship. 2018. No. 10 (99). pp. 622-628.

2. Prosvirina N.V., Tikhonov A.I. An integrated approach to the training and development of personnel at the enterprises of the aviation industry // Finansovaya ekonomika. 2018. No. 7. S. 202-205.

Комплексный интегрированный подход к изучению нескольких языков как метод повышения профессиональной компетенции в высших учебных заведениях

Рогожина Л.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность темы определяется необходимостью расширения возможностей для изучения иностранных языков в рамках высшего образования, в т.ч. с помощью интегрированных занятий.

Целью является анализ опыта в области интегрированного обучения иностранным языкам и обоснование потенциала в области обучения иностранным языкам, познания культуры стран изучаемого языка, повышения общего культурного уровня и развития личности студентов.

Научные исследования в данной области, проводили, в частности Е.С. Иноземцева, Е.А. Самородова, Т.Н. Хомутова, А. В. Щепилова.

Большое внимание уделялось интегрированному обучению на начальных и средних этапах обучения языку, интеграции обучения различным предметам в средней школе. Но не менее актуальным, на наш взгляд, являются интегрированные занятия на продвинутом этапе, в вузе.

Представляется крайне актуальным развивать данное направление, как в языковых, так и неязыковых институтах.

Особую актуальность в связи с этим приобретает отбор и структуризация материала терминологического корпуса лексики изучаемых языков. В значительной мере эту задачу облегчает наличие большого корпуса интернациональной технической лексики.

В плане одновременного изучения одного или нескольких иностранных языков в рамках высшей школы привлекают внимание два подхода: языковое обучение на основе содержания (Content-Based Instruction), обучение на основе постановки задач (Task-Based Instruction). Первый подразумевает интеграцию определенного содержания с целями обучения языку или одновременное преподавание академических предметов и владения вторым языком. При данном подходе второй язык является средством передачи интересующей и актуальной информации для учащегося, а не непосредственным объектом изучения.

Поскольку структура занятий продиктована природой предмета, студенты должны задействовать все языковые навыки, практикуя их в высокоинтегрированной коммуникативной манере, изучая такие предметы, как математика, естественные и общественные науки.

Фактический баланс между изучением языка и изучением посредством языка варьируется. С одной стороны, в условиях одновременного обучения двум иностранным языкам, все или большая часть уроков проводится на неродном языке.

Второй вариант подразумевает, что у учащихся есть небольшое количество официальных языковых уроков. Кроме того, они изучают один или два других школьных предмета на иностранном языке. Таким образом, обучение даёт учащимся полезные знания и одновременно вовлекает их в целенаправленное общение на иностранном языке.

Другой подход, основанный на интегрированных навыках, известен как обучение на основе постановки задач. Он характеризуется как подход, который подчеркивает обучение общению посредством взаимодействия на изучаемом языке, введение аутентичных текстов в учебные ситуации, улучшение личного опыта учащегося и увязку изучения языка в классе с активизацией языка вне класса.

Успех этих двух подходов должен подкрепить общее мнение о том, что коммуникативные навыки хорошо развиваются в ситуациях, когда иностранный язык используется не только ради него самого, но и как средство для достижения какой-то другой, нелингвистической цели.

Для осуществления задачи применения интегрированного подхода в вузах потребуется создать чёткую систему обучения и при соблюдении всех общих методических принципов обучения иностранному языку разработать лингвистические и педагогические её основы, серьёзно подойти к отбору материала и составлению программ интегрированного обучения.

Multilingual approach to foreign language teaching in higher schools as a method of professional competences' formation

Rogozhina L.A.
MAI, Moscow, Russia

In terms of the simultaneous study of one or more foreign languages within higher education, two approaches attract attention: content-based language learning (Content-Based Instruction), task-based instruction (Task-Based Instruction). The first one involves the integration of certain content with the goals of language teaching or the simultaneous teaching of academic subjects and second language proficiency. With this approach, the second language is a means of transmitting interesting and relevant information for the student, and not a direct object of study.

In general, the content-based language teaching method focuses on the use of second and foreign language skills and is distinguished by the study of specific content and related language use skills. Since the structure of the classes is dictated by the nature of the subject, students should use all language skills by practicing them in a highly integrated communicative manner, studying subjects such as mathematics, science and social sciences.

The actual balance between learning a language and learning though a language is variable. On the one part, there are bilingual school in which all or most of the lessons are conducted in a non-native language. They reach a high degree of proficiency in the second language without receiving formal

instruction in it, and do not suffer in other aspects of their education. There is a modified form of this approach. Learners have a small number of formal language lessons. In addition, they study one or two of their other school subjects through the medium of the foreign language. The teaching then has a dual role: to provide learners with useful knowledge, and to engage them in purposeful communication in foreign language.

Another integrated skills approach is known as task-based learning. It is characterized as an approach that emphasizes teaching communication through interaction in the target language, introducing authentic texts into learning situations, improving the learner's personal experience, and linking language learning in the classroom with language activation outside the classroom.

The success of the two approaches should serve to reinforce the general view that communicative skills develop well in situations where the foreign language is experienced not merely for its own sake, but also as a means towards some other, nonlinguistic end.

Развитие вербальной креативности: использование флэш-карт на практических занятиях по английскому языку с профессионально-ориентированным подходом для студентов МАИ

Рыбакова Л.В., Еремеенкова Н.А., Хоткина Е.С., Червяков В.И.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность темы определяется тем, что необходима подготовка высококвалифицированных специалистов мирового уровня. с нестандартным творческим мышлением, преодоление словесных стереотипов, свободным владением иноязычной речью.

Методология статьи включает тестирование респондентов, анализ результатов, анализ степени разработанности обозначенной темы.

Цель: обосновать эффективность использования флэш-карт на практических занятиях по английскому языку для развития вербальной креативности.

Обзор публикаций показал, что о творческом мышлении и флэш-картах написано немалое количество работ. Российские и зарубежные авторы исследуют эволюцию развития, предлагают разнообразные методы тестирования. Но тема интеграции с иностранным языком в контексте развития вербальной креативности недостаточно освещена.

Новизна. Впервые в авиационном вузе проводится эксперимент использования Lexilize Flashcards на практических занятиях по английскому языку для развития вербальной креативности.

Сам термин «Вербальная креативность» в 1959 году был введен Дж. Гилфордом как «расходящееся, идущее в разных направлениях» – дивергентное мышление. С. Медник считает, что в творческом процессе присутствуют дивергентное и конвергентное мышлению. А. Маслоу понимает креативность как качество, которое может быть применено для решения любой задачи в жизни одаренность, чувствительность к проблемам, независимость суждений. Развитие вербальной креативности средствами иностранного языка, в том числе и с использование флэш-карт на практических занятиях по английскому языку для студентов - тема инновационная. Суть данного метода основано Лейтнером. Оно заключается в повторении иностранных слов через определенные промежутки времени в зависимости от результата воспроизведения слова по памяти.

Для апробации гипотезы об эффективности использования флэш-карт для развития вербальной креативности на практических занятиях по английскому языку с профессионально-ориентированным подходом нами было проведено исследование в виде эксперимента, респондентами которого стали 60 студентов 1-го курса. Студенты на основе электронного сервиса Lexilize Flashcards создавали флэш-карты на определенную тему («Космос», «Самолет» и пр.), применяли их для обработки нового материала, запоминали, использовали в представления понятий, словообразования в разнообразных контекстах. Вывод, сформулированный на основании результатов теста Торренса до и после эксперимента, показал, что уровень творческого мышления значительно повысился. При этом выросла мотивация студентов, расширился вокабуляр.

Developing Verbal Creativity: Using Flash Cards in Practical English Classes with a Professionally Oriented Approach for MAI (NRU) Students

Rybakova L.V., Eremeenkova N.A., Hotkina E.S., Cherveakov V.I.
MAI, Moscow, Russia

The relevance of the topic is determined by the fact that it is necessary to train highly qualified world-class specialists. with non-standard creative thinking, overcoming verbal stereotypes, fluency in foreign language speech. The methodology of the article includes testing respondents, analysis of the results, analysis of the degree of development of the designated topic. Purpose: to substantiate the effectiveness of using flash cards in practical English classes for the development of verbal creativity. A review of publications showed that a considerable amount of work has been written about creative thinking and flash cards. Russian and foreign authors explore the evolution of development, offer a variety of testing methods. But the topic of integration with a foreign language in the context of the development of verbal creativity is not sufficiently covered. Novelty. For the first time, an aviation university is experimenting with the use of Lexilize Flashcards in practical English classes to develop verbal creativity. The very term "Verbal creativity" in 1959 was introduced by J. Gilford as "divergent, going in different directions" - divergent thinking. S. Mednik believes that there are divergent and convergent thinking in the creative process. A. Maslow understands creativity as a quality that can be applied to solve any problem in life - giftedness, sensitivity to problems, independence of judgment. The development of verbal creativity by means of a foreign language, including the use of flash cards in practical classes in English for students, is an innovative topic. The essence of this method is founded by Leitner. It consists in repeating foreign words at certain intervals, depending on the result of reproducing the word from memory. To test the hypothesis about the effectiveness of using flash cards for the development of verbal creativity in practical classes in English with a professionally oriented approach, we conducted a study in the form of an experiment, the respondents of which were 60 first-year students. . Based on the Lexilize Flashcards electronic service, students created flash cards on a specific topic (“Space”, “Airplane”, etc.), used them to process new material, memorized, used in the presentation of concepts, word formation in various contexts. The conclusion formulated on the basis of the results of the Torrens test before and after the experiment showed that the level of creative thinking increased significantly. At the same time, the motivation of students has grown, the vocabulary has expanded.

Виды самостоятельной работы студентов и ее влияние на формирование иноязычной профессионально-коммуникативной компетенции (по материалам статей современных отечественных исследователей)

Рябкова Г.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность работы. Самостоятельная работа студентов (СРС) – одно из важнейших условий развития иноязычной профессионально-коммуникативной компетенции [1]. Успех обучения особенно в области ИЯ немыслим без активности студента, в связи с этим необходимо было рассмотреть виды СРС, подумать, как можно научить студента самостоятельно приобретать новые знания и умения.

Целью данного исследования является анализ статей, посвященных проблемам, связанным с данной темой и рассмотрение основных видов самостоятельной работы студентов по иностранному языку (ИЯ).

Для достижения цели были выдвинуты задачи: обзор источников по обозначенной теме; изучение видов СРС; изучение электронных сервисов для СРС и подбор тестов; выбор оптимального вида СРС; составления траектории обучения

Обзор. Исследования в этой сфере ведутся многими учеными такими как: Г.М. Бурденюк, А.А. Дробышевский, Л.Г. Жук, Е.В. Захарова, Е.В. Змиевская, И.А. Зимняя, И.А. Иванова, Е.В. Королькова, Н.Ф. Коряковцева, Г.М. Парникова, Н.В. Старцева, О.Н. Щеголева и др [3]. Исследователями изучена СРС с разных ракурсов, но аспекты видов СРС не освещены в их трудах.

На основе анализа литературы, были выделены следующие основные виды СРС по ИЯ:

1. СР над языковыми средствами (ЯС) в целях их накопления (анализ/интерпретация текста, составление собственных мини-словарей и др.) [5].

2. Самостоятельная тренировочная работа над ЯС (выполнение традиционных видов тренировочной работы типа перефраз, перевод статей по научной специальности и пересказ с элементами анализа, предполагающий передачу содержания текста с использованием собственных языковых средств) [2]. В качестве одного из обязательных семестровых заданий для студентов МАИ является подбор статьи по специальности, ее перевод на русский язык, составление мини-словаря и анализ.

3. Самостоятельная речевая практика (самостоятельное чтение, самостоятельное аудирование, участие в международных конференциях). Практика в письменной речи является обязательной составляющей практического овладения ИЯ (эссе, личные и деловые письма, и др) [4]. В качестве дополнительного задания студентами МАИ каждый семестр проводится домашнее чтение худ. литературы на английском языке и выполнение заданий по ходу чтения каждой главы для формирования иноязычной профессионально-коммуникативной компетенции.

В ходе исследования было выявлено, что оптимальным видом СРС является комбинированное использование разных видов СРС и как следствие разнообразных упражнений как в онлайн, так и в офлайн форматах. Для этого необходимо активно внедрять онлайн платформы для СРС в образовательный процесс; разработка пособий для СРС.

Вывод: рассмотренные виды СРС эффективны лишь применяясь в комплексе для развития иноязычной профессионально-коммуникативной компетенции.

Types of independent work of students and its influence on the formation of foreign language professional and communicative competence (based on articles by modern domestic researchers)

Ryabkova G.V.
MAI, Moscow, Russia

The relevance of the work. Independent work of students (SIW) is one of the most important conditions for the development of foreign language professional and communicative competence [1]. The success of teaching, especially in the field of foreign language, is unthinkable without the activity of the student, in this regard, it was necessary to consider the types of SIW, to think about how to teach the student to independently acquire new knowledge and skills.

The purpose of this study is to analyze articles on issues related to this topic and review the main types of independent work of students in a foreign language (FL).

To achieve the goal, the following tasks were put forward: a review of sources on the designated topic; study of types of SRS; study of electronic services for CPC and selection of tests; selection of the optimal type of SRS; drawing up a learning path

Review. Research in this area is carried out by many scientists such as: G.M. Burdenyuk, A.A. Drobyshevsky, L.G. Zhuk, E.V. Zakharova, E.V. Zmievskaya, I.A. Zimnyaya, I.A. Ivanova, E.V. Korolkova, N.F. Koryakovtseva, G.M. Parnikova, N.V. Startseva, O.N. Shchegolev and others [3]. Researchers have studied CRS from different angles, but aspects of the types of CRS are not covered in their works.

Based on the analysis of the literature, the following main types of IWS in IA were identified:

1. SR over linguistic means (LS) in order to accumulate them (analysis / interpretation of the text, compiling your own mini-dictionaries, etc.) [5].

2. Independent training work on the SL (performing traditional types of training work such as paraphrases, translating articles on a scientific specialty and retelling with elements of analysis, involving the transfer of the content of the text using your own language tools) [2]. As one of the mandatory semester tasks for MAI students is the selection of an article in the specialty, its translation into Russian, the compilation of a mini-dictionary and analysis.

3. Independent speech practice (independent reading, independent listening, participation in international conferences). Practice in writing is a mandatory component of the practical mastery of a foreign language (essays, personal and business letters, etc.) [4]. As an additional task, every

semester, MAI students conduct home reading. Literature in English and completing assignments in the course of reading each chapter to form a foreign language professional and communicative competence.

The study revealed that the optimal type of SRS is the combined use of different types of SRS and, as a result, a variety of exercises both online and offline. To do this, it is necessary to actively introduce online platforms for SIW in the educational process; development of manuals for SRS.

Conclusion: the considered types of SIW are effective only when used in combination for the development of foreign language professional and communicative competence.

Разработка экспериментального стенда для исследования влияния визуальных помех на работу человека-оператора на дисплее

Сачков И.Э.
МАИ, г. Москва, Россия

Важнейшей составляющей профессиональной деятельности оператора по управлению системой человек-машина является приём информации об объекте управления, которую он получает с помощью средств отображения информации (СОИ). В настоящее время широко используется представление информации на экране многофункциональных индикаторных устройств (МФИ). При ряде важных достоинств МФИ имеют один важный недостаток. На качестве считывания информации с экрана МФИ могут негативно сказываться отражения на нём окружающей обстановки и посторонних источников света. Они приводят к быстрой усталости операторов и появлению ошибок при считывании показаний приборов, демонстрируемых на МФИ.

Настоящая работа предпринята с целью расширения функциональных возможностей применяемой методики исследования влияния визуальных помех на работу оператора. На основании обзора средств отображения информации и средств защиты от визуальных помех, был разработан экспериментальный стенд с условиями, частично имитирующими рабочее место человека-оператора, управляющего ЛА. При помощи компьютерной программы и источника отражений, применяемых с целью создания искусственных помех на дисплее было проведено испытание по двум различным методикам. В результате проведенного исследования были сформулированы следующие выводы:

• Успешность зрительного опознавания кадров в значительной степени определялась временем предъявления.

• Условия внешней освещенности не оказывали значительного влияния на эффективность опознавания буквенных кадров в условиях помехового воздействия зеркальных отражений (или их эмуляции) или без него.

• Длительность работы существенно не влияло на результаты исследования.

• Исследование показало, что чем сложнее психофизическая задача, поставленная перед испытуемым, тем более чувствительным становится экспериментальный метод.

• Эффективность деятельности испытуемых при эмуляции зеркальных отражений путем совмещения кадра и отражений на одном экране значительно ниже, чем при непосредственном наблюдении реальных помеховых изображений той же интенсивности.

Для улучшения качества работы человека-оператора были сформулированы следующие рекомендации:

• Время предъявления кадра должно быть не менее 400мс, во избежание серьезных ошибок при работе.

• Человеку-оператору необходимо делать небольшие перерывы при работе со сложной психофизической задачей более 30 минут (среднее время при котором испытуемый начинал жаловаться на самочувствие)

1. Человеческий фактор. В 6 томах. Том 5. Эргономические основы проектирования рабочих мест: Пер. с англ./К. Кремер, Д. Чэффин, М. Айюб и др. – М.:Мир, 1992. 390с., ил. С. 145-156.

2. ГОСТ Р 52324-2005 «Эргономические требования к работе с визуальными дисплеями, основанными на плоских панелях. Часть 2. Эргономические требования к дисплеям с плоскими панелями». С. 28-30.

Development of an experimental stand for studying the effect of visual interference on the work of a human operator on the display

Sachkov I.E.
MAI, Moscow, Russia

The most important component of the operator's professional activity in managing the human-machine system is the reception of information about the control object, which he receives with the help of information display media. Currently, the representation of information on the screen of multifunctional indicator devices is widely used. With a number of important advantages, MFIs have one important drawback. The quality of reading information from the indicator screen can be negatively affected by reflections of the surrounding environment and extraneous light sources on it. They lead to rapid fatigue of operators and errors when reading the readings of the instruments demonstrated at the screen.

This work is undertaken in order to expand the functionality of the applied methodology for studying the effect of visual interference on the operator's work. Based on the review of information display media and protection against visual interference, an experimental stand was developed with conditions partially simulating the workplace of a human operator operating an aircraft. With the help of a computer program and a reflection source used to create artificial interference on the display, a test was carried out using two different methods. As a result of the study, the following conclusions were formulated:

The success of visual identification of frames was largely determined by the time of presentation

• The ambient light conditions did not have a significant impact on the effectiveness of identifying letter frames in conditions of interference from mirror reflections (or their emulation) or without it.

• The duration of the work did not significantly affect the results of the study.

The study showed that the more complex the psychophysical task assigned to the subject, the more sensitive the experimental method becomes.

The effectiveness of the subjects' activity in emulating mirror reflections by combining the frame and reflections on the same screen is significantly lower than when directly observing real interference images of the same intensity.

To improve the quality of human operator work, the following recommendations were formulated:

• The frame presentation time should be at least 400ms, in order to avoid serious errors during operation.

• The human operator needs to take short breaks when working with a complex psychophysical task for more than 30 minutes (the average time at which the subject began to complain about feeling well).

Особенности формирования команды международного проекта

[1]Семина А.П., [2]Желтенков А.В.
[1]МАИ, [2]МГОУ, г. Москва, Россия

В условиях неопределенности и постоянной изменчивости появляется потребность в разработке методов управления командами международного проекта. В процессе работы в проектной команде происходит постоянный обмен опытом и знаниями, коммуникация преимущественно проходит на английском языке. Многие исследования показывают, что формирование профессионалов «под задачу» способствует более быстрому реализацию инновационного проекта.

Ли Якокка говорил: «Персонал предприятия — это как футбольная команда: ребята должны играть как единая команда, а не скопище ярких личностей». В эпоху мировой конкуренции и реализации высокотехнологичных проектов организация испытывает потребность в создании не просто эффективных команд в рамках своей страны, но и команд, которые могли бы коммуницировать на международной арене. Создание международных команд имеет ряд особенностей. Как правило, международная команда, появляется в организациях, которые присутствуют на мировой арене, которые открывают свои представительства в разных странах, имеют мировой масштаб. Открытие организаций в разных странах позволяет получать опыт данной страны и использовать последние технологии, а также возможность

выбора лучших решений именно данной конкретной страны, а не универсального решения для всех, т.е. появляется индивидуальный подход. В таких организациях стараются создать сильную корпоративную культуру, которая могла бы сплотить коллектив и вовлечь специалистов в работу. Работа с корпоративной культурой ведется на серьезном уровне, так как именно она помогает эффективно управлять всей организацией. Команды международных организаций отличаются своей величиной, образуется метакоманда, которая включает в себя всех сотрудников организации с распределенным лидерством.

Возможность получить знания и навыки специалистов разных стран позволяет организации быстрее справляться с вызовами, которые перед ней стоят. Однако члены команд и организация могут встретиться также и с трудностями в процессе своей деятельности. Во-первых, трудовое законодательство каждой страны отличается, что вызывает большие издержки на юридический отдел. Во-вторых, сотрудники могут встречаться с несогласием друг с другом в политических и религиозных вопросах, что также вызывает трудности в общении, но данную проблему может решить сильная корпоративная культура. В-третьих, коммуникация происходит преимущественно на английском языке, и организациям приходится отказываться от лучших специалистов, которые не готовы работать на этом языке или испытывают сильный языковой барьер. В-четвертых, одна из особо актуальных проблем – это несовпадение праздников и иногда невозможностью компании решить данный вопрос документальным путем для всех стран одинаково, что вызывает падение продуктивности. В-пятых, организация испытывает трудности при выплате заработной платы сотрудникам разных стран из-за особенностей межвалютных расчетов. Сотрудники в свою очередь сталкиваются с проблемой валютных комиссий при переводе и имеют оплату меньше в денежном эквиваленте. В-шестых, часовые пояса, которые сильно разнятся, также могут сказываться на продуктивности команды.

Формирование международной команды имеет свои преимущества и недостатки. Для соответствия быстро меняющемуся миру организации необходимо быть гибкой и мобильной для того, чтобы, как можно быстрее, в короткие сроки и с наименьшими потерями, перестраивать свои бизнес-процессы для получения прибыли.

Features of the formation of an international project team

[1]Syomina N.P., [2]Zheltenkov A.V.
[1]MAI, [2]MGOU, Moscow, Russia

In conditions of uncertainty and constant variability, there is a need to develop methods for managing teams of an international project. In the process of working in the project team, there is a constant exchange of experience and knowledge, communication mainly takes place in English. Many studies show that the formation of professionals "for the task" contributes to the faster implementation of an innovative project.

Lee Lacocca said: "The staff of the enterprise is like a football team: the guys should play as a single team, not a bunch of bright personalities." In the era of global competition and the implementation of high-tech projects, the organization feels the need to create not just effective teams within its own country, but also teams that could communicate in the international arena. The creation of international teams has a number of features. As a rule, an international team appears in organizations that are present on the world stage, which open their representative offices in different countries, have a global scale. The opening of organizations in different countries allows you to gain the experience of a given country and use the latest technologies, as well as the opportunity to choose the best solutions for this particular country, rather than a universal solution for everyone, i.e. an individual approach appears. In such organizations, they try to create a strong corporate culture that could unite the team and involve specialists in the work. Work with corporate culture is conducted at a serious level, as it helps to effectively manage the entire organization. The teams of international organizations differ in their size, a meta-team is formed, which includes all employees of the organization with distributed leadership.

The opportunity to gain knowledge and skills of specialists from different countries allows the organization to cope faster with the challenges it faces. However, team members and the organization

may also encounter difficulties in the course of their activities. Firstly, the labor legislation of each country is different, which causes high costs for the legal department. Secondly, employees may disagree with each other on political and religious issues, which also causes difficulties in communication, but a strong corporate culture can solve this problem. Thirdly, communication takes place mainly in English, and organizations have to abandon the best specialists who are not ready to work in this language or experience a strong language barrier. Fourth, one of the most pressing problems is the discrepancy between holidays and sometimes the inability of the company to solve this issue in a documentary way for all countries in the same way, which causes a drop in productivity. Fifth, the organization is experiencing difficulties in paying salaries to employees from different countries due to the peculiarities of cross-currency settlements. Employees, in turn, face the problem of currency commissions when transferring and have less money to pay. Sixth, time zones, which vary greatly, can also affect the productivity of the team.

The formation of an international team has its advantages and disadvantages. In order to meet the rapidly changing world, an organization needs to be flexible and mobile in order to rebuild its business processes as quickly as possible, in a short time and with the least losses, in order to make a profit.

Требования, предъявляемые к управлению рисками, в авиационной промышленности

Смирнова Е.А., Барменков Е.Ю., Одиноков С.А.
МАИ, г. Москва, Россия

На сегодняшний день предприятия России вынуждены функционировать в условиях постоянного давления из-за введенных санкций. В таких условиях существенно возрастает роль обеспечения качества продукции. Разработка, внедрение и поддержание в рабочем состоянии системы менеджмента качества (СМК) позволяет компаниям выпускать продукцию в соответствии с требованиями потребителя, что повышает их конкурентоспособность.

СМК – это часть системы управления организацией, функцией которой является обеспечение стабильного качества производимой продукции и оказываемых услуг, в том числе и за счет снижения рисков. Построение СМК основывается на требованиях стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015, включающие следующие принципы: ориентация на потребителя, лидерство, взаимодействие людей, процессный подход, улучшение и др. Управление рисками является необъявленным принципом менеджмента качества. По моему мнению, этого принципа не хватает, т.к. именно он обеспечивает в перспективе высокий уровень качества и удовлетворенность потребителей. Особенно это отчетливо прослеживается в отраслевых системах, нацеленных на построение СМК в авиационной и космической промышленностях.

Управление рисками способствует совершенствованию системы управления организации. В настоящее время управление рисками на авиационных предприятиях включает в себя определение рисков, анализ рисков, определение последствий, принятие решений и мониторинг. Риск – это сочетание вероятности события и его последствий.

Риск-ориентированное мышление позволяет организации и ее сотрудникам определять факторы, которые могут привести к отклонению от запланированных результатов и несоответствию СМК организации требованиям нормативной документации. Кроме того, появляется возможность использовать предупреждающие действия для минимизации негативных последствий и максимального использования возникающих возможностей. Риск – это сочетание вероятности события и его последствий.

Для предприятий, занимающихся изготовлением авиационной техники, следует учитывать авиационные правила. В этом документе говорится, что должны быть СМК, а также система управления безопасностью полетов (СУБП). СМК должна быть адаптирована к СУБП. Управление рисками для безопасности полетов (БП) заключается в выполнении следующих процедур: сбор и анализ данных о БП, выявление факторов опасности, оценка риска для БП, воздействие на риск (при необходимости). Эти действия необходимо выполнять обязательно, а главное последовательно.

Таким образом, управление рисками является важной и неотъемлемой задачей в управлении авиационным предприятием. Для реализации вышесказанного необходимо применение следующих методов: FMEA, FTA, HAZOP и др. С помощью этих методов возможно проанализировать потенциальные дефекты, их причины и последствия, оценить риски их появления и принять меры для устранения или снижения вероятности их появления.

Requirements for risk management in the aviation industry

Smirnova E.A., Barmenkov E.Yu., Odinokov S.A.
MAI, Moscow, Russia

Today, Russian enterprises are forced to operate under constant pressure due to the imposed sanctions. In such conditions, the role of product quality assurance increases significantly. The development, implementation and maintenance of a quality management system (QMS) allows companies to manufacture products in accordance with consumer requirements, which increases their competitiveness.

The QMS is a part of the organization's management system, the function of which is to ensure the stable quality of products and services provided, including by reducing risks. The construction of the QMS is based on the requirements of the GOST R ISO 9001-2015 standard, including the following principles: customer orientation, leadership, people interaction, process approach, improvement, etc. Risk management is an undeclared quality management principle. In my opinion, this principle is not enough, because it is he who ensures in the future a high level of quality and customer satisfaction. This is especially clearly seen in industry systems aimed at building a QMS in the aviation and space industries.

Risk management contributes to the improvement of the organization's management system. Currently, risk management in aviation enterprises includes risk identification, risk analysis, consequences determination, decision making and monitoring. Risk is the combination of the likelihood of an event and its consequences.

Risk-based thinking allows the organization and its employees to identify factors that may lead to deviation from the planned results and non-compliance of the organization's QMS with the requirements of regulatory documentation. In addition, it becomes possible to use preventive actions to minimize negative consequences and maximize the opportunities that arise. Risk is the combination of the likelihood of an event and its consequences.

For enterprises engaged in the manufacture of aviation equipment, aviation regulations should be taken into account. This document states that there should be a QMS as well as a safety management system (SMS). The QMS should be adapted to the SMS. Flight safety risk management (SF) consists of the following procedures: collection and analysis of SF data, identification of hazard factors, risk assessment for SF, impact on the risk (if necessary). These actions must be performed without fail, and most importantly, consistently.

Thus, risk management is an important and integral task in the management of an aviation enterprise. To implement the above, it is necessary to use the following methods: FMEA, FTA, HAZOP, etc. Using these methods, it is possible to analyze potential defects, their causes and consequences, assess the risks of their occurrence and take measures to eliminate or reduce the likelihood of their occurrence.

Подход к автоматизации процесса планирования работ технической эксплуатации авиационной техники на базе программных платформ класса ERP

Станкевич А.М.
МАИ, г. Москва, Россия

Стадия эксплуатации является по времени самой длительной и затратной из стадий жизненного цикла авиационной техники (АТ). При этом затраты на техническую эксплуатацию (ТЭ) составляют значительную часть от этих затрат.

Одним из основных доступных направлений уменьшения затрат на работы по ТЭ является совершенствование механизмов их планирования, подкрепленных современным инструментарием. В докладе рассматривается возможность использования в качестве такого

рода инструментария программной платформы класса ERP и процедуры планирования работ по ТЭ АТ, реализованной на базе этой программной платформы.

В основе рассматриваемой процедуры планирования лежит необходимость выполнения жёстких требований по обеспечения лётной годности АТ. Поддержание лётной годности обеспечивается посредством выполнения процессов, связанных с ТЭ АТ. Исходя из этого стадия эксплуатации состоит из двух циклически повторяющихся этапов, а именно, этапов лётной и технической эксплуатации. Одним из видов действий ТЭ, обеспечивающим поддержание лётной годности изделия АТ, является техническое обслуживание (ТО). Выполнение ТО в зависимости от состояния изделия АТ регламентируется положениями эксплуатационной технической документации, к которой относятся такие документы, как "Информация для планирования технического обслуживания" и "Руководство по технической эксплуатации". Указанная документация содержит сведения о работах ТО, которые должны быть выполнены, периодичности выполнения этих работ и необходимых для выполнения этих работ трудовых и материальных ресурсах. В связи с этим, для организаций, осуществляющих поддержание лётной годности изделий АТ является актуальной задача планирования работ ТО на разных уровнях планирования. Выделяются следующие три уровня планирования: долгосрочное планирование (горизонт планирования равен одному году), среднесрочное планирование (горизонт планирования равен одному кварталу/месяцу), оперативное планирование (горизонт планирования равен одной неделе/суткам). В современных условиях решение задач планирования ТО изделий АТ выполняется с использованием информационных технологий, в связи с чем представлен пример автоматизации процесса планирования таких работ на базе одной из программных платформ класса ERP.

An approach to automating the process of planning the technical operation of aviation equipment based on ERP-systems

Stankevich A.M.
MAI, Moscow, Russia

The operational stage is by time the longest and most expensive of the stages of the life cycle of aviation equipment (AE). At the same time, the costs of technical operation (TO) make up a significant part of these costs.

One of the main available ways to reduce the costs of work is to improve the mechanisms of their planning, supported by modern tools. The report discusses the possibility of using an ERP-system and a work planning procedure implemented on the basis of this system as such tools.

The basis of the planning procedure under consideration is the need to meet strict requirements to ensure the airworthiness of AE. The maintenance of airworthiness is ensured through the implementation of processes related to TO. Based on this, the operation stage consists of two cyclically repeating stages, namely, the stages of flight and technical operation. Maintenance is one of the types of TO actions that ensure the maintenance of the airworthiness of the AE. The performance of maintenance, depending on the condition of the AE, is regulated by the provisions of the operational technical documentation, which includes such documents as "Maintenance Planning Document" and "Aicraft Maintenance Manual". The specified documentation contains information about the maintenance works to be performed, the frequency of these works and the labor and material resources necessary to perform these works. In this regard, for organizations that maintain the airworthiness of AE, the task of planning maintenance work at different planning levels is urgent. The following three levels of planning are distinguished: long-term planning (the planning horizon is one year), medium-term planning (the planning horizon is one quarter/month), operational planning (the planning horizon is one week/day). In modern conditions, the solution of the tasks of planning the maintenance of AE is carried out using information technology, in connection with which an example of automation of the planning process of such work on the basis of one of the ERP class software platforms is presented.

Эффективность применения интеллект-карт для работы с техническими текстами при обучении профессионально-ориентированному языку в МАИ

Судилина Е.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность темы определяется тем, что в современном мире, когда человек ежедневно сталкивается с большим потоком информации, поступающей из различных источников, весьма востребованными являются специалисты, способные наиболее эффективно обрабатывать такой объем информации, поэтому этот навык необходимо развивать и у студентов, задействовав новые методы обучения, одним из которых является применение интеллект-карт.

Цель данного исследования – познакомить студентов с интеллект-картами, с помощью которых организовать работу с техническими текстами на иностранном языке, а затем сделать выводы относительно эффективности применения интеллект-карт.

Обзор публикаций. Исследования в данной области проводятся такими учеными как Э.М. Ахмедова, В.А. Плаксина, И.В. Григорьева, Г.А. Хорохорина, В.Н. Таран, А.С. Гаврилова, А.А. Путина, С.Ф. Плясунова, Ю.В. Суслова, Н.М. Костерина. Однако анализ научных трудов показывает, что тема не является исчерпанной. Крайне мало исследован вопрос использования интеллект-карт при работе с техническими текстами на иностранном языке.

В рамках данного исследования, проведенного в весеннем семестре 2021/2022 учебного года в МАИ, студентам был представлен метод анализа технических текстов с помощью создания интеллект-карт, а затем была дана оценка данному методу.

На начальном этапе студентам бакалавриата и специалитета первого и третьего курса обучения было предложено пройти опрос, в ходе которого было выявлено, что данный метод не знаком большинству студентов: 84% студентов не знали о существовании интеллект-карт.

Далее студентам был объяснен метод построения интеллект-карт, после чего было предложено самостоятельно создать такие карты для изучаемых технических текстов.

На завершающем этапе в конце семестра был проведен опрос студентов касательно целесообразности, продуктивности и полезности применения интеллект-карт в процессе обучения.

Выводы. Полученные результаты опроса студентов позволяют заключить, что работа с техническими текстами на иностранном языке при помощи интеллект-карт является весьма эффективной, поскольку способствует лучшему усвоению информации, а также содействует развитию навыков, которые будут весьма полезны в будущем в профессиональной деятельности.

The effectiveness of using mind maps for working with technical texts in teaching professionally-oriented foreign languages in Moscow Aviation Institute

Sudilina E.V.
MAI, Moscow, Russia

The relevance of the topic is determined by the fact that in the modern world, when a person is daily faced with a large flow of information coming from various sources, specialists who are able to process such a volume of information most efficiently are in high demand, so this skill must be developed among students by using new teaching methods, one of which is the use of mind maps.

The purpose of this study is to show students how mind maps can be used to organize work with technical texts, and then draw conclusions about the effectiveness of using mind maps.

Review of publications. Research in this area is carried out by such scientists as E.M. Akhmedova, V.A. Plaksina, I.V. Grigorieva, G.A. Khorokhorina, V.N. Taran, A.S. Gavrilova, A.A. Putin, S.F. Plyasunova, Yu.V. Suslova, N.M. Kosterin. However, the analysis of scientific works shows that the topic is not exhausted. The issue of using mind maps when working with technical texts written in a foreign language has not been investigated sufficiently.

In this research, conducted in the spring term of the 2021/22 academic year in MAI, students were offered a method for analyzing technical texts by creating intelligence maps, and then this method was evaluated.

First of all, a survey was conducted among undergraduate and specialist students of the first and third years of study, which revealed that this method is not familiar to most students: 84% of students did not know about the existence of mind maps.

Then the students were explained the method of mind maps creation. After that they were asked to independently create such maps for the technical texts that they study.

Finally, at the end of the term, a survey regarding the feasibility, effectiveness and usefulness of using mind maps in the professionally-oriented language learning process was conducted among students.

The obtained results of the survey allow us to conclude that the use of mind maps in teaching professionally-oriented foreign languages is highly effective, since it contributes to better understanding of information, and also contributes to the development of skills that can be successfully applied in the future in professional activities.

Методологические аспекты экономического прогнозирования развития аэропортового комплекса

[1]Суркова Е.В., [2]Суркова У.В.
[1]МАИ, [2]МГУ, г. Москва, Россия

В настоящее время основной задачей развития аэропортовых комплектов является ориентация на повышение дохода от предпринимательства, не связанного с авиационной деятельностью. Доходность аэропортовых комплексов во многом зависит от диверсификации их деятельности, таких как, расширение сети гостиничных, ресторанных, медицинских комплексов, розничной торговли и т.п. В свою очередь, это способствует росту показателей прибыльности от неавиационного бизнеса. В процессе диверсификации происходит передача на аутсорсинг всех неавиационных услуг аэропортов. Потому что, таким образом, будет достигнут наивысший уровень качества предоставляемых услуг и привлечения большего объема инвестиций. В этой связи, особую значимость приобретает экономическое прогнозирование показателей финансовой деятельности аэропортового комплекса.

Отечественная практика показывает, что существует проблема повышения конкурентоспособности отечественных терминалов на предмет соответствия их возможностей мировым стандартам. Большинство объектов наземной авиационной инфраструктуры находятся в неудовлетворительном состоянии и с высоким уровнем износа. Также в России достаточно низкий уровень оснащения оборудованием авиационной безопасности. Недостаточное развитие производственной инфраструктуры не позволяет активно и уверенно развивать рынок воздушных перевозок и реализовывать транзитный потенциал России. Физический износ основных средств аэропортов достигает критического уровня. Это около 68%. Из мировой практики становится ясно, что износ более 50% означает потерю устойчивости деятельности аэропорта, а износ в 68% и более означает угрозу в обеспечении безопасности полетов, риск непредвиденных капиталовложений и потерю финансовой устойчивости, уход с рынка международных воздушных перевозок.

В рамках исследования были проанализированы методологические подходы к прогнозированию показателей аэропортового комплекса. Используемые модели долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного прогнозирования в современных российских условиях требуют адаптации. Выбор методов прогнозирования зависит от множества факторов. Для прогноза показателей деятельности аэропортового комплекса не все методы прогнозирования имеют эффект, так как аэропортовый комплекс – это сложная интегрированная структура взаимодействия авиакомпаний, туроператоров, обслуживающего персонала аэропорта и др. Такая система нуждается в определенных методах прогнозирования, которые эффективны исключительно для данного вида деятельности.

Результатом исследования является разработанная система комплексных показателей развития аэропортового комплекса, предусматривающая выбор моделей прогнозирования, составление прогноза, оценку точности прогнозных значений показателей и управление деятельностью по результатам. Прогнозирование показателей международного аэропортового комплекса показало высокую точность, а следовательно, предложенный

подход может быть применен для планирования деятельности и имеет важное значение при принятии управленческих решений.

Литература:

1. Surkova E.V., Comprehensive assessment of airport infrastructure operation Surkova E.V., Mazhaiskii Y.A. Russian Engineering Research. 2022. Т. 42. № 4. С. 405-407.

2. Сумина Р.С., Методы повышения точности прогнозирования экономических показателей Сумина Р.С., Рыжков А.Н., Сумина А.В. Некоторые вопросы анализа, алгебры, геометрии и математического образования. 2016. № 4. С. 177-178.

Methodological aspects of economic forecasting for the development of the airport complex

[1]Surkova E.V., [2]Surkova U.V.

[1]MAI, [2]MSU, Moscow, Russia

At present, the main task of developing airport complexes is to focus on increasing income from entrepreneurship not related to aviation activities. The profitability of airport complexes largely depends on the diversification of their activities, such as expanding the network of hotels, restaurants, medical complexes, retail, etc. In turn, this contributes to the growth of profitability indicators from the non-aeronautical business. In the process of diversification, all non-aeronautical airport services are outsourced. Thus, the highest level of quality of services provided and the attraction of more investments can be achieved. In this regard, the economic forecasting of financial performance indicators of the airport complex acquires special significance.

Domestic practice shows that there is a problem with increasing the competitiveness of domestic terminals to ensure that their capabilities comply with world standards. Most of the land-based aviation infrastructure facilities are in unsatisfactory condition and with a high level of depreciation. Also in Russia, the level of equipment with aviation security equipment is quite low. Insufficient development of the production infrastructure does not allow the actively and confidently developing of the air transportation market and the realisation of the transit potential of Russia. Physical depreciation of fixed assets of airports reaches a critical level. It is about 68%. From world practice, it becomes clear that depreciation of more than 50% means a loss of sustainability of the airport, and depreciation of 68% or more means a threat to flight safety, the risk of unforeseen investments and loss of financial stability, leaving the international air transportation market.

As part of the study, methodological approaches to forecasting the indicators of the airport complex were analyzed. The models used for long-term, medium-term and short-term forecasting in modern Russian conditions require adaptation. The choice of forecasting methods depends on many factors. For forecasting the performance of the airport complex, not all forecasting methods have an effect, since the airport complex is a complex integrated structure of interaction between airlines, tour operators, airport maintenance personnel, etc. Such a system needs certain forecasting methods that are effective only for this type of activity.

The result of the study is a developed system of complex indicators for the development of the airport complex, which provides for the selection of forecasting models, forecasting, assessing the accuracy of predictive values of indicators and managing activities based on the results. Forecasting indicators of the international airport complex showed high accuracy, and, therefore, the proposed approach can be applied to planning activities and is important in making management decisions.

References:

1. Surkova E.V., Comprehensive assessment of airport infrastructure operation Surkova E.V., Mazhaiskii Y.A. Russian Engineering Research. 2022. V. 42. № 4. P. 405-407.

2. Sumina R.S., Methods for improving the accuracy of forecasting economic indicators Sumina R.S., Ryzhkov A.N., Sumina A.V. Some questions of analysis, algebra, geometry and mathematical education. 2016. No. 4. pp. 177-178.

PR-коммуникации аэропорта «Храброво»

Тараненко А.В., Кушваха Х.Н.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность. Международный аэропорт «Храброво» (Калининград), имеющий статус федерального значения, является самым западным аэропортом нашей страны и обслуживает ежегодно 2,5-3 млн. пассажиров. В настоящее время, когда большинство российских компаний находятся в сложном положении из-за непростой ситуации на международной арене, PR-коммуникации играют особенно важную роль в создании условий безопасной и комфортной среды для пассажиров. Поэтому изучение функционирования пресс-службы аэропорта в этот период представляет особую значимость.

Цель работы – проанализировать информационные поводы и PR-тексты, размещенные на сайте аэропорта за период: январь - сентябрь 2022 года.

Обзор. Исследованием информационных поводов и PR-текстов занимались Горновая В.А.[1], Кривоносов А.Д.[2], Носова Е.А.[3], Чекалова Н.А.[4]. Однако ни одна из опубликованных работ не исследует PR-коммуникации аэропорта «Храброво».

Новизна. Авторами впервые была предпринята попытка исследовать виды PR-текстов и определить основные темы информационных поводов данной организации.

Исследование. Проанализированы PR-тексты, размещенные на сайте аэропорта «Храброво» в разделе «Медиацентр» под рубрикой «Новости» с января по сентябрь 2022 года.

Было установлено, что за 9 месяцев 2022 года пресс-службой аэропорта было опубликовано 32 PR-текста: 7 поздравлений и 25 пресс-релизов: январь (3 пресс-релиза), февраль (5: 2 поздравления и 3 пресс-релиза), март (4: 1 поздравление и 3 пресс-релиза), апрель (6 пресс-релизов), май (7: 2 поздравления и 5 пресс-релизов), июнь (1 поздравление), июль (3 пресс-релиза), август (1 пресс-релиз), сентябрь (2 пресс-релиза).

Анализ информационных поводов PR-текстов показал, что условно они разделяются на следующие тематические группы: аэропорт «Храброво» (13): пассажиропоток (8) и изменения в работе аэропорта (5); праздники (7); рейсы авиакомпаний (4): возобновление старых (3) и открытие новых (1); допуск на обслуживание моделей самолетов (4); авиакомпания «Белавиа» (4).

Отмечается, что все тексты сопровождены фотографиями и справочной информацией.

Выводы:

1. Основными жанрами, которые традиционно использует пресс-служба аэропорта, являются пресс-релизы и поздравления.

2. Главными информационными поводами является работа аэропорта, праздники, сотрудничество с авиакомпаниями.

3. Среднее количество опубликованных PR-текстов в месяц составляет 3 текста с наглядными материалами и справочной информацией.

4. Ограниченность периодичности, жанров и тематики информационных поводов PR-текстов, вне сомнения, минимизирует возможности влияния на потенциальных клиентов.

Рекомендации:

1. Пресс-службе аэропорта необходимо увеличить поток PR-текстов, разнообразить их жанр, расширить тематику информационных поводов.

2. Деятельность пресс-службы «Храброво», которая занимается осуществлением PR-коммуникаций, как с внешней, так и с внутренней аудиторией, нуждается в продолжении исследований с целью её оптимизации.

Литература:

1. Горновая В.А. Пресс-релиз как ведущий жанр PR- коммуникации//Знак: проблемное поле медиаобразования. – 2016. - № 3 (20). – С.51-56.

2. Кривоносов А.Д. PR текст в системе публичных коммуникаций. СПб.: Центр «Петербургское востоковедение», 2002.

3. Носова Е.А. Информационный повод как основа взаимодействия пресс-релиза и журналистского текста// Филология и человек. – 2013. - № 2. – С.132-139.

4. Чекалова Н.А. Пресс-релиз в структуре PR-деятельности//Научный вестник МГТУГА. – 2009. - № 146. – С.109-112.

Genre originality of texts in PR communications of Khrabrovo airport

Taranenko A.V., Kushvakha Kh.N.
MAI, Moscow, Russia

Relevance. Khrabrovo International Airport (Kaliningrad), which has the status of federal significance, is the westernmost airport in our country and serves 2.5-3 million passengers annually. At present, when most Russian companies are in a difficult situation due to the difficult situation in the international arena, PR communications play a particularly important role in creating conditions for a safe and comfortable environment for passengers. Therefore, the study of the functioning of the airport's press service during this period is of particular importance.

The purpose of the work is to analyze informational occasions and PR texts posted on the airport's website for the period: January - September 2022.

Review. Gornova V.A.[1], Krivonosov A.D.[2], Nosova E.A.[3], Chekalova N.A.[4] were engaged in the study of informational occasions and PR texts. However, none of the published works explores the PR communications of Khrabrovo Airport.

Novelty. For the first time, the authors attempted to investigate the types of PR texts and identify the main topics of the information occasions of this organization.

Study. The PR texts posted on the website of Khrabrovo airport in the Media Center section under the heading "News" from January to September 2022 were analyzed.

It was found that for 9 months of 2022, the airport's press service published 32 PR texts: 7 congratulations and 25 press releases: January (3 press releases), February (5: 2 congratulations and 3 press releases), March (4: 1 congratulations and 3 press releases), April (6 press releases), May (7: 2 congratulations and 5 press releases), June (1 congratulations), July (3 press releases), August (1 press release), September (2 press releases).

The analysis of the PR texts' informational occasions showed that they are conditionally divided into the following thematic groups: Khrabrovo Airport (13): passenger traffic (8) and changes in airport operation (5); holidays (7); airline flights (4): renewal of old (3) and opening of new (1); admission to the maintenance of aircraft models (4); Belavia Airline (4).

It is noted that all texts are accompanied by photographs and background information.

Conclusions:

1. The main genres that the airport's press service traditionally uses are press releases and congratulations.
2. The main informational reasons are the work of the airport, holidays, cooperation with airlines.
3. The average number of published PR texts per month is 3 texts with visual materials and background information.
4. The limited frequency, genres and topics of PR-texts' informational occasions undoubtedly minimizes the possibilities of influencing potential customers.

Recommendations:

1. The press service of the airport needs to increase the flow of PR texts, diversify their genre, expand the subject of information occasions.
2. The activities of the Khrabrovo press service, which is engaged in PR communications, both with external and internal audiences, need to continue research in order to optimize it.

Применение инструментов бережливого производства в модели «Университет 4.0» для предприятий аэрокосмической отрасли

Тарасова Н.В., Мезина Н.А., Капицина В.С., Бекназарова А.Т.
МАИ, г. Москва, Россия

«Университет 4.0» – университет будущего, в котором использование возможностей цифровизации станут основными участниками изменения коммуникации между членами образовательного процесса. Несомненно, использование цифровых инструментов позволит отслеживать образовательный процесс более точно, что повлечет за собой моментальную

реакцию и изменение образовательного процесса в случае каких-либо отрицательных показателей.

Концепция «Университет 4.0» позволит подготавливать как экономико-управленческие кадры, так и инженерные для предприятий высокотехнологичных отраслей промышленности. Данная концепция позволит университету удовлетворять конкретные потребности промышленности, как института общества, которое реализует функцию поставщика знаний о будущем и призванного стать лидером развития высокотехнологичных отраслей, через эффективное проявление функции капитализации собственных знаний.

В рамках данной статьи поднят вопрос о целесообразности введения технологий бережливого производства в процесс обучения в высших учебных заведениях, в рамках концепции «Университет 4.0».

В современном мире бережливое производство считается неотъемлемой частью жизни общества, главной целью которого является минимизация материальных, технических и прочих потерь.

Если смотреть на образовательный процесс с точки зрения бережливого производства, то можно сделать вывод, что он «собрал» в себе практически все виды потерь, но одной из самых значимых является неэффективное использование человеческого капитала.

Внедрение инструментов бережливого производства в модели «Университет 4.0» поможет добиться более качественного образовательного процесса и выпуска квалифицированных работников.

Application of lean manufacturing tools in the "University 4.0" model for aerospace enterprises

Tarasova N.V., Mezina N.A., Kepitcina V.S., Beknazarova A.T.
MAI, Moscow, Russia

"University 4.0" is the university of the future, in which the use of digitalization opportunities will become the main participants in changing communication between members of the educational process. Undoubtedly, the use of digital tools will allow you to track the educational process more accurately, which will entail an instant reaction and a change in the educational process in case of any negative indicators.

The concept of "University 4.0" will allow to train both economic and managerial personnel and engineering personnel for enterprises of high-tech industries. This concept will allow the university to meet the specific needs of industry, as an institution of society that implements the function of a provider of knowledge about the future and designed to become a leader in the development of high-tech industries, through the effective manifestation of the function of capitalization of its own knowledge.

Within the framework of this article, the question of the expediency of introducing lean manufacturing technologies into the learning process in higher education institutions is raised, within the framework of the concept of "University 4.0".

In the modern world, lean manufacturing is considered an integral part of society's life, the main goal of which is to minimize material, technical and other losses

If we look at the educational process from the point of view of lean manufacturing, we can conclude that it has "collected" almost all types of losses, but one of the most significant is the inefficient use of human capital.

The introduction of lean manufacturing tools in the "University 4.0" model will help to achieve a better educational process and the release of qualified workers.

Особенности работы с высокопотенциальными сотрудниками (HiPo) на предприятиях аэрокосмической отрасли

[1]Тихонов А.И., [2]Строев В.В.
[1]МАИ, [2]ГУУ, г. Москва, Россия

Одной из основных задач любой организации является выявление и поддержка настоящих лидеров, наиболее результативных и инициативных работников, которые ведут за собой

коллектив, добиваясь новых успехов. Несмотря на значительное предложение на рынке труда высокопрофессиональных кадров, обладающих необходимыми знаниями и компетенциями, ощущается явный дефицит исключительно сотрудников с высоким потенциалом (High Potentials, HiPo), которые являются главным и самым ценным активом компании. Проведенные исследования показывают, что организации, которые активно внедряют системный подход к управлению своими HiPo, являются более подготовленными для решения новых задач и ответов на все вызовы конкурентного мира. По оценкам экспертов, наблюдается двухкратный рот доходов у организаций с утвержденными лидерскими программами, по сравнению с остальными. Высокопрофессиональные сотрудник должны обладать особым потенциалом, способностями и стремлением к сохранению лидерских позиций в компании. Важным условием эффективности кадровой работы является точная идентификация HiPo, с учетом всех динамичных изменений в организации.

Особое значение имеет работа с наиболее талантливыми работниками на предприятиях авиационной индустрии, как наиболее высокотехнологичной и инновационной. Создание современных летательных аппаратов 5-го поколения, конкурентоспособных на мировом рынке, требует от создателей современной авиационной техники не только высокого профессионализма, но и дополнительных выдающихся способностей к творческому росту и качественным изменениям. Для предприятий, входящих в состав Объединенной авиастроительной корпорации предлагаются следующие этапы выявления лидеров с наиболее высоким потенциалом:

1. Выдвижение в коллективе группы талантливых кандидатов.
2. Проведение всесторонней оценки результативности перспективных сотрудников.
3. Вовлечение различных уровней менеджмента предприятия к кадровому конкурсу HiPo.
4. Оценка лидерского потенциала выдвинутых работников.
5. Проведение стратегической сессии для оценки талантов определенных лидеров.

Главной установкой в кадровой политике ПАО «ОАК» является ее открытость и нацеленность на привлекательность для соискателей, поэтому прозрачность и открытость HR-работы Корпорации находится на высоком уровне. Большое внимание уделяется управлению кадровым резервом Корпорации. Корпоративные программы ОАК предусматривают проведение Конкурсов научно-технических работ молодых специалистов. Часто таланты выявляются по результатам проводимых Корпоративных чемпионатов профессионального мастерства по стандартам WorldSkills. На результаты оценки персонала влияют итоги Конкурса проектов по совершенствованию производственной системы.

Литература:

1. Строев В.В., Тихонов А.И. Инструмент по карьерному развитию персонала на предприятиях аэрокосмической отрасли. Московский экономический журнал. 2022. т. 7. № 7.
2. Строев В.В., Тихонов А.И. Анализ использования чат-бота как инструмента онлайн-обучения персонала. Московский экономический журнал. 2022. т. 7. № 6.
3. Строев В.В. Экономическое обоснование выбора информационных систем управления высокотехнологичным предприятием в условиях цифровизации. Московский экономический журнал. 2022. Т. 7. № 3.

Features of working with high-potential employees (HiPo) at the enterprises of the aerospace industry

[1]Tikhonov A.I., [2]Stroev V.V.
[1]MAI, [2]SUM, Moscow, Russia

One of the main tasks of any organization is to identify and support real leaders, the most productive and enterprising employees who lead the team, achieving new successes. Despite the significant supply of highly qualified personnel with the necessary knowledge and competencies on the labor market, there is a clear shortage of only employees with High Potentials (HiPo), which are the main and most valuable asset of the company. Studies show that organizations that actively implement a systematic approach to managing their HiPos are more prepared to meet new challenges and respond to all the challenges of the competitive world. According to experts, there is a two-fold

increase in income from organizations with approved leadership programs, compared to the rest. A highly professional employee must have special potential, abilities and desire to maintain leadership positions in the company. An important condition for the effectiveness of personnel work is the accurate identification of HiPo, taking into account all the dynamic changes in the organization.

Of particular importance is the work with the most talented employees at the enterprises of the aviation industry, as the most high-tech and innovative. The creation of modern aircraft of the 5th generation, competitive in the world market, requires from the creators of modern aviation technology not only high professionalism, but also additional outstanding abilities for creative growth and qualitative changes. For enterprises that are part of the United Aircraft Corporation, the following stages are proposed to identify leaders with the highest potential:

1. Nomination of a group of talented candidates in the team.
2. Conducting a comprehensive performance assessment of prospective employees.
3. Involvement of various levels of enterprise management in the HiPo personnel competition.
4. Evaluation of the leadership potential of nominated employees.
5. Holding a strategic session to assess the talents of certain leaders.

The main setting in the personnel policy of UAC is its openness and focus on attractiveness for applicants, so the transparency and openness of the Corporation's HR work is at a high level. Much attention is paid to the management of the Corporation's personnel reserve. Corporate programs of UAC provide for the holding of competitions for scientific and technical works of young specialists. Often, talents are identified based on the results of corporate championships of professional skills held according to WorldSkills standards. The results of personnel assessment are influenced by the results of the Competition for projects to improve the production system.

References:

1. Stroev V.V., Tikhonov A.I. A tool for the career development of personnel at the enterprises of the aerospace industry. Moscow Economic Journal. 2022. v. 7. No. 7.

2. Stroev V.V., Tikhonov A.I. Analysis of the use of a chatbot as a tool for online staff training. Moscow Economic Journal. 2022. v. 7. No. 6.

3. Stroev V.V. Economic justification for the choice of information management systems for a high-tech enterprise in the context of digitalization. Moscow Economic Journal. 2022. Vol. 7. No. 3.

Применение методов HR-аналитики при управлении персоналом предприятий Объединенной авиастроительной корпорации

Тихонов В.А., Краев В.М.
МАИ, г. Москва, Россия

Для эффективного управления более чем 90-тысячным высокопрофессиональным персоналом Объединенной авиастроительной корпорации (ОАК), входящей в состав Госкорпорации Ростех, необходимо активное использование современных HR-трендов. Современный период деятельности Корпорации, под руководством Генерального директора ПАО «ОАК» Ю.Б. Слюсаря, отмечается активным реформированием всей организационно-кадровой структуры. Ведущие предприятия ОАК формируют опережающие научно-технологические заделы с целью вывода на мировые рынки самых конкурентоспособных авиа-комплексов нового пятого поколения. Происходит масштабная корпоративной трансформация ПАО «ОАК», предусматривающая централизованный менеджмент более чем 30 входящих в корпорацию предприятий (ПАО «Компания «Сухой», РСК «МиГ», ПАО, АО «Авиастар-СП», ПАО «ВАСО», АО «ЭМЗ им. В.М. Мясищева», ПАО «Туполев» и др.). Централизованное управление всеми авиационными предприятиями улучшает производственную кооперацию, исключает дублирование административных функций, создает новые корпоративные центры компетенций. Цифровая трансформация ПАО «ОАК» требует широкомасштабного внедрения цифровизации во всех сферах деятельности, включая управление человеческими ресурсами.

Современным инструментом, способствующим повышению эффективности труда персонала, является HR-аналитика. Она позволяет систематизировать информацию о персонале Корпорации, которая регулярно обрабатывается руководством для оценки

эффективности своих решений, анализа текущей ситуации и оперативного устранения возникающих проблем. HR-аналитика дает реальную статистику и аналитику по персоналу для принятия управленческих решений; увеличивает эффективность всех инструментов работы с персоналом; подсказывает самые экономичные модели принятия решений; выявляет скрытые закономерности и осуществляет эффективный контроль работы сотрудников. Применение в работе HR-метрик позволяет руководителям предприятий оценивать реальные показатели деятельности, в сравнении с конкурентами. HR-метрики формируют адекватные ожидания у менеджмента от деятельности HR-департаментов, позволяют оптимально планировать бюджет, доказывают целесообразность расходов за счет обоснования показателей эффективности работы сотрудников. HR-аналитика способствует разработке целевых значений затрат на персонал, расчету KPI и эффективности работников предприятий; анализирует основные показатели деятельности организации для возможной корректировки бюджета. HR-аналитика помогает выявить наиболее существенные проблемы (снижение доходов и рост расходов; снижающаяся эффективность, увеличение штата и текучести персонала; отставание в области цифровизации и автоматизации) и дать оптимальные рекомендации по повышению конкурентной устойчивости организации.

Литература:

1. Тихонов А.И. Основные задачи российских компаний, решаемые с помощью HR-аналитики. Естественно-гуманитарные исследования. 2020. № 28 (2). С. 262-266.

2. Краев В.М., Тихонов А.И. Риск-менеджмент в управлении кадрами. Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2016. № 8-2 (21). С. 22-25.

3. Строев В.В., Тихонов А.И. Инструмент по карьерному развитию персонала на предприятиях аэрокосмической отрасли. Московский экономический журнал. 2022. т. 7. № 7.

Application of HR-analytics methods in personnel management of the enterprises of the United Aircraft Corporation

Tikhonov V.A., Kraev V.M.

MAI, Moscow, Russia

Effective management of more than 90,000 highly professional personnel of the United Aircraft Corporation (UAC), which is part of the Rostec State Corporation, requires the active use of modern HR trends. The current period of the Corporation's activity, under the leadership of the General Director of UAC Yu.B. Slyusar, is marked by active reform of the entire organizational and personnel structure. Leading UAC enterprises are forming advanced scientific and technological reserves in order to bring the most competitive new fifth-generation aircraft complexes to the world markets. A large-scale corporate transformation of UAC is taking place, providing for the centralized management of more than 30 enterprises included in the corporation ("Company" Sukhoi", "MiG", "Aviastar-SP", "VASO", "EMZ im. V. M. Myasishchev, "Tupolev", etc.). Centralized management of all aviation enterprises improves industrial cooperation, eliminates duplication of administrative functions, and creates new corporate centers of excellence. The digital transformation of UAC requires a large-scale implementation of digitalization in all areas of activity, including human resource management.

HR-analytics is a modern tool that improves the efficiency of staff work. It allows you to systematize information about the personnel of the Corporation, which is regularly processed by management to evaluate the effectiveness of their decisions, analyze the current situation and promptly eliminate emerging problems. HR-analytics provides real statistics and HR-analytics for making managerial decisions; increases the efficiency of all HR-tools; suggests the most economical decision-making models; reveals hidden patterns and exercises effective control over the work of employees. The use of HR-metrics in the work allows business leaders to evaluate real performance indicators in comparison with competitors. HR-metrics form adequate expectations for management from the activities of HR-departments, allow optimal budget planning, prove the expediency of expenses by substantiating employee performance indicators. HR-analytics contributes to the development of target values for personnel costs, the calculation of KPIs and the efficiency of

enterprise employees; analyzes the main performance indicators of the organization for possible adjustments to the budget. HR-analytics helps to identify the most significant problems (decreasing revenues and rising costs; decreasing efficiency, increasing staff and staff turnover; lagging behind in the field of digitalization and automation) and provide optimal recommendations for improving the competitive sustainability of the organization.

References:

1. Tikhonov A.I. The main tasks of Russian companies solved with the help of HR analytics. Natural-humanitarian research. 2020. No. 28 (2). pp. 262-266.

2. Kraev V.M., Tikhonov A.I. Risk management in personnel management. Competitiveness in the global world: economics, science, technology. 2016. No. 8-2 (21). pp. 22-25.

3. Stroev V.V., Tikhonov A.I. A tool for the career development of personnel at the enterprises of the aerospace industry. Moscow Economic Journal. 2022. v. 7. No. 7.

Ценностные ориентации студентов Московского авиационного института (по результатам исследования Российского общества социологов 2022 гг..)

Токарева Е.М., Яримака В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

2022 год объявлен Содружеством Независимых Государств «Годом народного творчества и культурного наследия». Российское общество социологов осуществляет масштабный проект изучения роли и значения культурного наследия, связи поколений в жизни молодежи. Цель проекта - формирование рекомендаций по совершенствованию социокультурной составляющей молодежной политики Союза независимых государств, и государственной молодежной политики в России. В МАИ в 2022 году социологами кафедры 920 был осуществлен масштабный социологический опрос студентов всех институтов по векторам, выявляющим нормы и ценностные предпочтения, факторы социализации, отношение к трудоустройству, значению культуры, роли семьи и государства в жизни студенчества. В ходе работы так же исследовалась значимость исторической памяти, высшего образования, выявлялось отношение студенчества к субъектам мнений в государстве и молодежной политике. Нормы и ценности, являются базовыми элементами культуры личности - определяющим фактором комплекса взаимодействий личности. Следовательно, анализ ценностных ориентаций личности позволяет прогнозировать кратковременные и долгосрочные формы гармоничного и противоречивого взаимодействия, в том числе, в учебном процессе. Моделирование и управление процессами социализации и интериоризации личности, на основе анализа ценностных ориентаций, позволяет совершенствовать процессы социального управления в организации и государстве по комплексу направлений. Анализ результатов опроса студентов МАИ выявил ряд тенденций: студенты МАИ высоко оценивают роль государственной политики в сохранении исторической памяти, и здесь, очевидно, возрастает роль МАИ в процессах организации и вовлечения студентов в программы сохранения исторического наследия, что является фактором повышения идентификации ВУЗу и сплоченности в обществе. В выборе взаимодействия с людьми и формирования отношения к событиям в стране и мире, приоритетом является собственное мнение, ориентация на мнение преподавателей, друзей минимальна, что предполагает необходимость повышения уровня вовлеченности студентов во взаимодействия в форме дискуссионных клубов, круглых столов, клубов по интересам, других форм организованного экспертного взаимодействия на базе МАИ. Также необходимо отметить высокий уровень ценности уважения к старшим, что указывает на высокий уровень идентификации традиционной культуре и низкий уровень противоречивого взаимодействия со старшим поколением, в том числе, в коллективе МАИ.

Value orientations of students in Moscow Aviation Institute (basedon the resultsobtained by the Russian Society of Sociologists)

Tokareva E.M., Yarimaka V.V.
MAI, Moscow, Russia

The year 2022 has been declared by the Commonwealth of Independent States as the "Year of Folk Art and Cultural Heritage". The Russian Society of Sociologists is implementing a large-scale project to study the role and significance of cultural heritage, the connection of generations in the life of young people. The aim of the project is to form recommendations for improving the socio-cultural component of the youth policy of the Union of Independent States, and the state youth policy in Russia. In MAI in 2022, sociologists of the department 920 conducted a large-scale sociological survey of students of all institutes on vectors that reveal norms and value preferences, factors of socialization, attitude to employment, the importance of culture, the role of family and the state in the life of students. In the course of the work, the significance of historical memory, higher education was also investigated, the attitude of students to the subjects of opinions in the state and youth policy was revealed. Norms and values are the basic elements of personality culture - the determining factor of the complex of personality interactions. Consequently, the analysis of the value orientations of the individual makes it possible to predict short-term and long-term forms of harmonious and contradictory interaction, including in the educational process. Modeling and management of the processes of socialization and internalization of personality, based on the analysis of value orientations, allows to improve the processes of social management in the organization and the state in a complex of directions. Analysis of the results of the survey of MAI students revealed a number of trends: MAI students highly appreciate the role of state policy in preserving historical memory, and here, obviously, the role of MAI in the processes of organizing and involving students in historical heritage preservation programs increases, which is a factor in increasing the university's identification and cohesion in society. In choosing interaction with people and forming an attitude to events in the country and the world, one's own opinion is a priority, orientation to the opinion of teachers and friends is minimal, which implies the need to increase the level of student involvement in interactions in the form of discussion clubs, round tables, interest clubs, and other forms of organized expert interaction based on MAI. It is also necessary to note the high level of the value of respect for elders, which indicates a high level of identification with traditional culture and a low level of contradictory interaction with the older generation, including in the MAI team.

Сетевое интервью в контексте немецкого аэрокосмического медиадискурса

Трубченинова А.А.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность исследования определяется обращением к интервью как одной из наиболее востребованных и социально значимых форм организации информационного поля современных СМИ. Новизна состоит в описании текстовых особенностей, а также средств лексико-семантического и синтаксического уровней реализации прагматических установок интервью авиационно-космической тематики.

Целью работы является рассмотрение лингвоформатных характеристик немецкоязычных сетевых интервью, в которых представлены сведения, мнения и суждения о событиях, инновациях и программах в аэрокосмической сфере. Общение журналиста с авторитетным лицом (руководителем предприятия аэрокосмической отрасли или научного института, представителем компании, летчиком, космонавтом) оформлено в виде последовательного чередования вопросов и ответов, отличается доступностью и позволяет направлять внимание адресата на особо значимые факты или явления.

Исследование проводилось на материале интервью специализированных сайтов aerokurier.de, dlr.de, flugrevue.de с использованием методов контекстуально-семантического, функционального и интерпретативного анализа при общем стратегическом подходе. Стратегию мы определяем как тип речевого поведения коммуникантов, соотнесенный с планом достижения коммуникативных целей в рамках интеракции.

Проведенный анализ показал такие языковые средства актуализации стратегии информирования, как вопросительные местоимения для запроса информации, временные маркеры, профессионально ориентированная лексика, аббревиатуры, обозначения количественных данных, а также номинации моделей летательных аппаратов, авиационной и ракетно-космической техники. Включение в диалог информации о личности респондента обусловливает использование эксплицитных и имплицитных маркеров положительной оценочности. Выражение мнения, как правило, связано с анализом, объяснением, с приведением конкретных числовых или количественных значений, с оценкой фактов, событий или результатов деятельности. Основными языковыми средствами реализации данной стратегии являются глаголы лексико-семантической группы мнения, оценочная лексика, аргументативные маркеры и структуры.

Результаты исследования могут полезны при изучении других жанров аэрокосмического медиадискурса, а также в практике преподавания немецкого языка для специальных целей.

Network interview within the context of German aerospace media discourse

Trubcheninova A.A.
MAI, Moscow, Russia

Relevance of the study is determined by address to the interview as one of the most popular and socially significant forms of organizing the information field of modern mass media. Novelty lies in description of text features, as well as means of the lexical-semantic and syntactic levels of implementation of pragmatic preferences of the aerospace interview.

The aim of the work is to consider linguistic and format characteristics of German online interviews, which provide information, opinions and judgments about events, innovations and programs in the aerospace field. Communication of a journalist with an authority figure (a head of an aerospace enterprise or a scientific institute, a company representative, a pilot, an astronaut) is designed in the form of interchange of questions and answers, is accessible and allows directing an addressee's attention to particularly significant facts or phenomena.

The study was conducted based on interviews from specialized websites aerokurier.de, dlr.de, flugrevue.de using methods of contextual-semantic, functional and interpretive analysis with a common strategic approach. We define a strategy as a type of speech behavior of communicants, correlated with a plan of achievement of communicative goals during interaction.

In the course of the analysis, linguistic means of updating the information strategy such as interrogative pronouns for requesting information, temporary markers, professionally oriented vocabulary, abbreviations, quantitative data designations, as well as nominations for models of aircraft, aviation and rocket-and-space machines were identified. Inclusion of information about the respondent's personality in the dialogue determines the use of explicit and implicit markers of positive appraisal. As a rule, expression of an opinion is associated with analysis, explanation, presentation of specific numerical or quantitative values, assessment of facts, events or performance results. Main linguistic means of implementing this strategy are verbs of the lexico-semantic group of opinion, evaluative vocabulary, argumentative markers and structures.

The results of the study may be useful in reviewing of other aerospace media discourse types, as well as in the practice of teaching German for special purposes.

Система управления персоналом в период неопределенности

Уваров Р.А., Сульдина Г.А.
МГУУ Правительства Москвы, г. Москва, Россия

На развитие организации влияют множество факторов, так как рынок очень подвижен и чувствителен к каждому слову и действию со стороны крупных представителей бизнес-сообщества и политических деятелей. Невозможность предсказать поведение рынка вызывает неопределенность. На текущий момент российский рынок продолжает восстанавливаться от пандемии, которая изменила принципы работы для многих организаций, а также продолжает наблюдаться восполнение российскими производителями освободившихся рыночных ниш. Одной из таких сфер является микроэлектроника, очень важная в авиакосмической сфере, где

доля российских производителей к концу года, по прогнозам заместителя министра промышленности и торговли Российской Федерации Василия Викторовича Шпака, составит около 20 процентов [2], что показывает высокий рост.

Система управления персоналом также претерпела изменения и на нее повлияла нестабильность. В этой связи система управления персоналом также должна быть подвижна и быстро реагировать на изменения конъюнктуры, но при этом не теряя самоидентичность и не переступая принятых в организации принципов устройства труда и работы с персоналом. Основными проблемами, с которыми сталкиваются hr-специалисты в России – это нехватка квалифицированных кадров [3] и уход многих сотрудников из-за переездов или личных причин, что также негативно сказывается на работе организации, и тем самым, создает дополнительные трудности кадровому департаменту.

Новые трудности, с которыми столкнулись многие организации, повлияли на организацию системы подбора персонала. Компании, в большинстве крупные, стали активно поддерживать государственные проекты по подготовке кадров и узких специалистов на конкретные вакансии под свое производство и проекты, что особо актуально в авиакосмической сфере. Одним из таких государственных проектов стал «Профессионалитет» [1]. Данный проект является частью системы подготовки кадров в учебных заведениях среднего образования, в частности профессионального образования. Главной особенностью данного проекта является ориентированность на конкретные запросы рынка, и поэтому важная роль в процессе обучения отводится именно бизнес-сообществу, который помогает студентам получить востребованные знания и навыки в том числе под конкретные вакансии, создаваемые этими компаниями. Данное направление является востребованным в самолетостроении, а также в космической отрасли. В рамках проекта в 42 регионах создано более 70 образовательно-производственных центров, в их составе более 250 колледжей и 200 предприятий [1].

Взращивание кадров под конкретные потребности рынка и крупных предприятий, которые являются базисными и уникальными, как авиакосмические, и занимают значимые позиции на мировом рынке позволяет упрочить экономику страны и создавать инновационные продукты.

Литература:

1. Курбатов М. Образовательные программы предприятий помогают развитию регионов // Российская газета - Спецвыпуск: Устойчивое развитие. - 2022. - 18.10. - Ст. 4.

2. Стольников В. Российская индустрия включает внутренние резервы: как предприятия ключевых отраслей справляются с внешним давлением // Российская газета - Спецвыпуск: Устойчивое развитие. - 2022. - 18.10. - Ст. 2.

3. Рынок труда впал в ступор // Большие идеи URL: https://big-i.ru/krizis/rynok-truda-vpal-v-stupor/ (дата обращения: 18.10.2022).

Personnel management system in a period of uncertainty

Uvarov R.A., Suldina G.A.

MMGU, Moscow, Russia

The development of the organization is influenced by many factors, as the market is very mobile and sensitive to every word and action from major representatives of the business community and politicians. The inability to predict market behavior causes uncertainty. At the moment, the Russian market continues to recover from the pandemic, which has changed the principles of work for many organizations, and Russian manufacturers continue to fill the vacant market niches. One of these areas is microelectronics, which is very important in the aerospace sector, where the share of Russian manufacturers by the end of the year, according to the forecasts of the Deputy Minister of Industry and Trade of the Russian Federation Vasily Viktorovich Shpak, will be about 20 percent [2], which shows a high growth.

The personnel management system has also undergone changes and has been affected by instability. In this regard, the personnel management system should also be mobile and respond quickly to changes in the market, but at the same time without losing self-identity and without overstepping the principles of work arrangement and work with personnel accepted in the organization. The main problems faced by HR specialists in Russia are the shortage of qualified

personnel [3] and the departure of many employees due to relocation or personal reasons, which also negatively affects the work of the organization, and thereby creates additional difficulties for the personnel department.

New difficulties faced by many organizations have affected the organization of the recruitment system. Companies, mostly large ones, have begun to actively support government projects to train personnel and narrow specialists for specific vacancies for their production and projects, which is especially important in the aerospace sector. One of such state projects was "Professionalism" [1]. This project is part of the personnel training system in secondary education institutions, in particular vocational education. The main feature of this project is its focus on specific market demands, and therefore an important role in the learning process is assigned to the business community, which helps students to gain in-demand knowledge and skills, including for specific vacancies created by these companies. This direction is in demand in the aircraft industry, as well as in the space industry. Within the framework of the project, more than 70 educational and production centers have been created in 42 regions, including more than 250 colleges and 200 enterprises [1].

Nurturing personnel to meet the specific needs of the market and large enterprises, which are basic and unique, like aerospace, and occupy significant positions in the world market, allows strengthening the country's economy and creating innovative products.

References:

1. Kurbatov M. Educational programs of enterprises help the development of regions // Rossiyskaya gazeta - Special Issue: Sustainable development. - 2022. - 18.10. - Article 4.

2. Stolnikov V. Russian industry includes internal reserves: how do enterprises in key industries cope with external pressure // Rossiyskaya Gazeta - Special Issue: Sustainable Development. - 2022. - 18.10. - St. 2.

3. The labor market has fallen into a stupor // Big Ideas URL: https://big-i.ru/krizis/rynok-truda-vpal-v-stupor / (accessed: 10/18/2022).

Развитие программ подготовки специалистов с учетом возможностей национальной системы квалификаций

[1]Федотова М.А., [2]Тарасова В.Н.

[1]МАИ, [2]РУТ МИИТ, г. Москва, Россия

С 2014 года происходит становления, а в текущем периоде наблюдается новый этап развития Национальной системы квалификаций (НСК) и усиление взаимосвязи ее отдельных элементов. Этот процесс оказывает влияние на разработку образовательных программ вузов и создает дополнительные системные возможности при подготовке специалистов в России. Так, в частности, формирование образовательных программ и их реализация усиливается взаимодействием с различными институтами системы квалификаций.

Формирование образовательных программ, имеющих специфический профиль подготовки или отраслевую принадлежность, целесообразно разрабатывать с учетом отраслевой принадлежности или области деятельности соответствующих структуре Советов по профессиональным квалификациям (на сегодня 42 Совета в России) и профессиональных стандартов.

При формировании программ высшего образования в рамках направлений развития НСК целесообразно учитывать:

1. Соотношения формирования универсальных и профессиональных компетенций. В мире с современными возможностями цифровизации, необходимо понимание и прогноз необходимости формирования «мягких» и «инфраструктурных» управленческих навыков, связанных с перестройкой и гибким управлением различными системами, что весьма актуально и для аэрокосмической отрасли.

2. Взаимодействие вузов с работодателями. Практика работы корпоративных структур показывает, что поиск «талантов» перемещается к началу образовательной цепочки (дошкольное и школьное обучение) и необходимо выстраивать образовательные программы в вузах с учетом этого. Обучение по отдельным модулям невозможно без приглашения преподавателя-практика из конкретной компании, в том числе по соответствующим

профессиональным компетенциям. Практика работы вузов за последние годы показывает готовность и желание работодателей принимать студентов на практики и стажировки.

3. Формирование специальных уникальных программ и оценка профессиональных знаний. Уникальность программ связана с реализацией узконаправленных программ обучения под запросы заказчика, готовности быстры вносить изменений в действующие программы. Что касается формы обучения и формирования обучающего контента, уникальность проявляется в необходимости учета индивидуальных особенностей аудитории (очно-удаленные формы, контент с «обратной связью» и др.). Подобные вопросы напрямую не всегда регламентируются действующими стандартами, но разрабатываются под требования заказчика. Так, в частности, вопросы и возможности удаленной сдачи профессионально экзамена решаются каждым Советом самостоятельно.

4. Развитие профессиональных стандартов с учетом практики запросов на образовательные программы. Опыт работы Советов показывает, что возможно дополнение профессиональных стандартов трудовыми функциями по обращению от разработчиков программ подготовки с учетом потребностей компаний в развитии специальных профессиональных компетенций.

Литература:

1. Национальное Агентство Развития Квалификаций. Профессионально-общественная аккредитация – гарантия качества подготовки кадров. Документы. [Электронный ресурс]. - URL: https://nark.ru/news/za-professionalno-obshchestvennuyu-akkreditatsiyu-.php

2. Тихонов А.И., Михайлов А.А., Федотова М.А. Управление человеческими ресурсами: организационные и социально-экономические механизмы управления трудом работников предприятий аэрокосмической отрасли / Ставрополь, ЛОГОС. 2019.

Development of specialist training programs taking into account the capabilities of the national qualifications system

[1]Fedotova M.A., [2]Tarasova V.N.

[1]MAI, Moscow, [2]RUT (MIIT), Moscow, Russia

Since 2014, the formation has been taking place, and in the current period there is a new stage in the development of the National Qualifications System (NSC) and the strengthening of the interconnection of its individual elements. This process has an impact on the development of educational programs of universities and creates additional system opportunities for the training of specialists in Russia. So, in particular, the formation of educational programs and their implementation is enhanced by interaction with various institutes of the qualifications system.

It is advisable to develop the formation of educational programs with a specific training profile or industry affiliation, taking into account the industry affiliation or field of activity corresponding to the structure of Professional Qualifications Councils (currently 42 Councils in Russia) and professional standards.

When forming higher education programs within the framework of the NSC development directions, it is advisable to take into account:

1. The relationship between the formation of universal and professional competencies. In a world with modern opportunities for digitalization, it is necessary to understand and forecast the need for the formation of "soft" and "infrastructure" management skills related to the restructuring and flexible management of various systems, which is very relevant for the aerospace industry.

2. Interaction of universities with employers. The practice of corporate structures shows that the search for "talents" is moving to the beginning of the educational chain (preschool and school education) and it is necessary to build educational programs in universities with this in mind. Training in individual modules is impossible without the invitation of a teacher-practitioner from a specific company, including relevant professional competencies. The practice of universities in recent years shows the willingness and desire of employers to accept students for internships and internships.

3. Formation of special unique programs and assessment of professional knowledge. The uniqueness of the programs is associated with the implementation of narrowly focused training programs for the customer's requests, readiness to quickly make changes to existing programs. As for the form of training and the formation of training content, uniqueness is manifested in the need

to take into account the individual characteristics of the audience (face-to-face remote forms, content with "feedback", etc.). Such issues are not always directly regulated by the current standards, but are developed according to the customer's requirements. So, in particular, the issues and possibilities of remote passing of the exam professionally are decided by each Council independently.

4. Development of professional standards taking into account the practice of requests for educational programs. The experience of the Councils shows that it is possible to supplement professional standards with labor functions by applying from the developers of training programs, taking into account the needs of companies in the development of special professional competencies.

Организация цифровой среды как элемент совершенствования системы управления персоналом

[1]Федулов В.И., [1]Михайлов А.А., [2]Зунина Н.В.
[1]МАИ, [2]БОСС. Кадровые системы, г. Москва, Россия

Внедрение цифровых технологий является одним из ключевых факторов функционирования современных социально-экономических организаций. Необходимость повышения конкурентоспособности компании тесно связана с использованием актуальных инструментов, в основе которых лежит применение инновационных методик оптимизации системы управления трудовыми процессами, профессиональной адаптацией сотрудников и иными направлениями организационной деятельности [1]. Основной причиной роста потребности в создании цифровой среды на современном предприятии выступает повышение значимости человеческого капитала, как основного ресурса компании. Интеграция цифровых технологий зачастую позволяет максимально широко использовать интеллектуальный капитал сотрудников, занятых в процессе производства, или оказании коммерческих услуг.

В России наблюдается стабильный рост применения цифровых технологий во всех сегментах экономики. Также, Российская Федерация сохраняет лидерство среди стран СНГ по индексу кибербезопасности. Тем не менее, деструктивные кризисные явления ознаменовались для большинства отечественных компаний ростом опасений, связанных со снижением эффективности бизнес-процессов. Частично, данные аспекты обусловлены неравномерным уровнем цифровизации в регионах по сравнению с крупными городскими агломерациями. Кроме того, влияние на настроения российского менеджмента оказывает опасение чрезмерного полагания на ранее неиспробованные модели управления. Тем не менее, задачи создания цифровой среды на предприятии уже прочно вошли в перечень необходимых мероприятий по рационализации трудовых процессов как в России, так и зарубежом.

В управлении персоналом цифровизация, в первую очередь, представляет собой организацию комфортной рабочей среды для менеджеров и сотрудников. Возможность автоматизировать такие процессы, как учет персонала и согласование найма работников позволяет снизить временные и финансовые издержки компании. Также, помощью цифровых решений становится доступно создание системы электронного обучения, где каждый сотрудник сможет выбрать для себя подходящий курс повышения квалификации[2].

Благодаря созданию организационной цифровой среды, процесс постановки профессиональных задач и оценки качества их выполнения становится более прозрачным, централизованным и доступным. Важным результатом выступает структуризация информации о каждом аспекте организационной деятельности, что является необходимым условием функционирования современного предприятия.

Digital Environment as an Element of Human Resources Improvement

[1]Fedulov V.I., [1]Mikhailov A.A., [2]Zunina N.V.
[1]MAI, [2]BOSS. Human Resources Systems, Moscow, Russia

The introduction of digital technologies is one of the key factors in the functioning of modern socio-economic organizations. The need to increase the company's competitiveness is closely connected with the use of current tools, which are based on the use of innovative methods for optimizing the labor process management system, professional adaptation of employees and other

areas of organizational activity [1]. The main reason for the growth of the need to create a digital environment in a modern enterprise is the increase in the importance of human capital as the main resource of the company. The integration of digital technologies often makes the most of the intellectual capital of employees engaged in the production process or the provision of commercial services.

In Russia, there is a stable growth in the use of digital technologies in all segments of the economy. Also, the Russian Federation retains leadership among the CIS countries in terms of the cybersecurity index. Nevertheless, destructive crisis phenomena were marked for most domestic companies by an increase in fears associated with a decrease in the efficiency of business processes. In part, these aspects are due to the uneven level of digitalization in the regions compared to large urban agglomerations. In addition, the mood of Russian management is influenced by the fear of excessive reliance on previously untried management models. Nevertheless, the tasks of creating a digital environment at the enterprise have already been firmly included in the list of necessary measures to rationalize labor processes both in Russia and abroad.

In human resources management, digitalization, first of all, is the organization of a comfortable working environment for managers and employees. The ability to automate processes such as personnel accounting and employee reconciliation can reduce the company's time and financial costs. Also, with the help of digital solutions, the creation of an e-learning system becomes available, where each employee can choose a suitable advanced training course for himself [2].

By creating an organizational digital environment, the process of setting professional tasks and assessing the quality of their implementation becomes more transparent, centralized and accessible. An important result is the structuring of information about each aspect of organizational activity, which is a necessary condition for the functioning of a modern enterprise.

Иммерсивные технологии в корпоративном обучении: опыт Университета Правительства Москвы

Фивейский В.Ю.
Университет Правительства Москвы, г. Москва, Россия

Современное эффективное обучение сотрудников направлено на развитие компетенций будущего, необходимых для результативной работы персонала и, как следствие, для реализации стратегии организации. Иммерсивные технологии в обучении, к которым относят технологии виртуальной и дополненной реальности, призваны обеспечивать успешное освоение рабочих навыков. Особенно ценно применение иммерсивных технологий там, где работа связана с большим количеством стрессовых ситуаций, необходимо быстрое принятие решений в условиях ограниченного времени. Неслучайно вот уже почти 80 лет при подготовке летного состава используются специальные тренажеры-симуляторы. Они позволяют отрабатывать навыки пилотирования в нестандартных условиях, не подвергая опасности обучающегося. Но сопутствующий обучению стресс возникает не только при совершенствовании hard-skills. Приобретение и развитие таких компетенций как эмоциональный интеллект, навыки публичного выступления, коммуникативные и управленческие навыки тоже могут вызывать определенный психологический дискомфорт, связанный с боязнью совершить ошибку, неуверенностью в выборе решения. Программы обучения с использованием технологий виртуальной и дополненной реальности позволяют снизить градус стресса, обеспечить комфортное освоение нужного навыка в условиях, максимально приближенных к реальной рабочей ситуации, получить моментальную обратную связь.

В VR-центре Университета Правительства Москвы в настоящее время реализуется ряд обучающих программ для руководителей и специалистов органов исполнительной власти и подведомственных учреждений города Москвы. В стационарном VR-классе ежегодно проводится до 9000 обучений. Наиболее востребованными тренажерами являются «Навыки публичного выступления», «Обратная связь сотруднику», «Стратегии влияния и убеждения для руководителей», «Типология DISC». Мобильный класс – это оборудование для обучения (шлемы, очки), для использования которого не требуется компьютер и нет привязки к месту

проведения: весь контент загружается на жесткий диск автономного шлема. Благодаря мобильному оборудованию VR-центр проводит до 35000 обучений в год. При этом идет непрерывная работа по созданию новых тренажеров и отладке уже существующих под запросы заказчика. Яркими примерами разработки индивидуальных тренажеров являются программа «Организация и проведение торжественных церемоний в органах ЗАГС», тренажеры для инспекторов МАДИ и инспекторов по контролю за объектами недвижимости. Кроме VR-тренажеров в университете пользуется популярностью релакс-капсула для работы со стрессом с использованием метода биологической обратной связи. В процессе пользователи проходят релакс-терапию, влияющую на снижение стресс-факторов и улучшающую когнитивные способности.

Оценка эффективности программ обучения с использованием VR-технологий, отзывы заказчиков и участников позволяют сделать следующие выводы: они повышают освоение изучаемого материала, способствуют лучшей концентрации внимания, улучшают успеваемость.

Литература:

1. Журихин С.А. VR-технологии в обучении и развитии персонала// Вестник Университета Правительства Москвы. 2022.№2.С.46–51.

2. Лысаков Н.Д. Совершенствование психолого-педагогической подготовки преподавателей авиационных учебных центров по программе повышения квалификации// Человеческий капитал. 2020.№8.С.213-218

3. Фивейский В.Ю. Университет находит и разрабатывает лучшие HR-технологии для кадровой работы Правительства Москвы// Вестник Университета Правительства Москвы. 2020.№3.С.3–9.

Immersive technologies in corporate training: the experience of the MMGU

Fiveisky V.Y.

MMGU, Moscow, Russia

Modern effective employee training is aimed at the development of future competencies necessary for the effective work and, consequently, for the implementation of the organization's strategy.

Immersive technologies in training, which include virtual and augmented reality technologies, are designed to ensure the successful mastery of job skills. Immersive technologies are especially valuable where work is associated with a large number of stressful situations and where rapid decision-making is required. It is no coincidence that for almost 80 years now special simulators have been used in flight personnel training. They make it possible to practice piloting skills in non-standard conditions, without exposing the trainee to danger. But the stress associated with training does not only appear when we improve hard-skills. Development of such competences as emotional intelligence, public speaking skills, communication and management skills can also cause a certain psychological discomfort associated with the fear of making a mistake, uncertainty in the choice of decision. Training programs with the use of virtual and augmented reality technologies allow to reduce the degree of stress, ensure comfortable mastering of the necessary skill in conditions, as close as possible to the real work situation and get instant feedback.

At present, the VR-Centre of the Moscow Metropolitan Government University offers a number of training programs for managers and specialists of the Moscow authorities and subordinate institutions. Up to 9,000 training sessions are organized annually in a stationary VR-class. The most popular simulators are "Public Speaking Skills", "Feedback to the Employee", "Strategies of Influence and Persuasion for Executives", "DISC Typology". A mobile classroom is training equipment (helmets, glasses) that does not require a computer and doesn’t depend on a specific location: all content is downloaded to the hard drive of the autonomous helmet. Using mobile equipment, VR-center conducts up to 35,000 training sessions a year. At the same time, new simulators are constantly created and existing ones are customized to the customer's needs. Good examples of customized programs are "Organization and conduction of wedding ceremonies in civil registry offices", simulators for MADI inspectors and real estate control inspectors.

In addition to VR simulators, a relaxation capsule for working with stress using biofeedback is popular at the university. In the process, users get relaxation therapy, which affects the reduction of stressors and improves cognitive abilities.

Evaluation of the effectiveness of training programs using VR-technology, feedback from customers and participants lead to the following conclusions: they increase the mastery of the studied material, provide better concentration, improve academic performance.

References:

1. Zhurikhin S. A. VR Technologies in Personnel Training and Development. MMGU Herald, 2022, no. 2, pp. 46-51. (In Russ.).

2. Lysakov N.D. Improvement of psychological and pedagogical training of teachers of aviation training centers on professional program // Chelovecheskij kapital . – 2020. – № 8. P. 213-218.)

3. Fiveyskiy V. Yu. The University Searches Out and Devises the Best of HR Technologies for Moscow Government's Personnel Administration. MMGU Herald, 2020, no. 3, pp. 3-9. (In Russ.).

Цифровое бережливое производство как перспективное направление совершенствования организации труда работников предприятия

Фролов В.П.

ФГБУ «ВНИИ труда» Минтруда России, г. Москва, Россия

На ряде российских предприятий принципы бережливого производства, внедренные в систему организации труда, еще не нашли реализации на базе цифровых технологий. Кроме того, сами принципы бережливого производства нередко сводятся к улучшению уже существующих производственных процессов без акцента на их инновационное развитие, применение новых технологий. Однако все больше растет понимание, что цифровые технологии способны раскрыть весь потенциал бережливого производства.

Применение цифровых технологий позволяет более эффективно и оперативно практиковать методы и инструменты бережливого производства. Так, метод бережливого производства «5s» в сочетании с АРМ существенно повышает уровень производительности труда работников, снижает количество брака, уменьшает монотонность труда; данные, полученные при применении методов бережливого производства «SMED» и «TPM» учитываются в цифровом моделировании производственных и управленческих процессов, что позволяет сделать их более результативными; методы «точно вовремя», «картирование потока создания ценности» и др. становятся более эффективными при выстраивании цифровых двойников производственных цепочек; метод «визуализация» с помощью цифровых технологий переходит на новый, более высокий уровень.

Цифровое бережливое производство – это производство, в котором используют комбинированные цифровые технологии в сочетании с принципами, методами и инструментами бережливого производства, поэтому именно оно рассматривается как перспективное направление совершенствования организации труда на предприятиях.

Digital lean production as a promising direction for improving the organization of labor of enterprise employees

Frolov V.P.

VCOT, Moscow, Russia

At a number of Russian enterprises, the principles of lean production, introduced into the labor organization system, have not yet been implemented on the basis of digital technologies. In addition, the very principles of lean production often come down to improving existing production processes without focusing on their innovative development, the use of new technologies. However, there is a growing understanding that digital technologies can unlock the full potential of lean production.

The use of digital technologies allows you to more effectively and quickly practice the methods and tools of lean production. Thus, the method of lean production "5s" in combination with the automated workplace significantly increases the level of labor productivity of workers, reduces the number of defects, reduces the monotony of labor; data obtained from the application of SMED and TPM lean production methods are taken into account in digital modeling of production and

management processes, which makes them more efficient; “just in time”, “value stream mapping”, etc. methods become more effective when building digital twins of production chains; the method of "visualization" with the help of digital technologies is moving to a new, higher level.

Digital lean production is a production that uses combined digital technologies in combination with the principles, methods and tools of lean production, therefore it is considered as a promising direction for improving the organization of labor in enterprises.

Оценка результатов экономической деятельности для принятия управленческих решений

Чайка Н.К.
МАИ, г. Москва, Россия

Одной из наиболее актуальных проблем в оценке выгодности вложенного капитала в закупку товара является проблема оценки в условиях динамично изменяющейся среды в режиме реального времени. Сущность этой задачи сводится к тому, что необходимо получать опережающие ключевые показатели на любой стадии жизненного цикла закупленного товара.

Для решения этой задачи, предлагается создание универсального документа, который позволит отразить в себе все основные показатели на различных этапах существования товара в операционном контуре.

Первым шагом при разработке документа является составление его структуры, описание основных разделов. При разработке разделов, учитывался анализ бизнес-процессов и основная задача, которая должна решаться – отображение ключевых показателей с учетом всех этапов жизненного цикла товара.

Основные разделы в разрабатываемом документе это:

ТЭО – основополагающий документ, который будет являться верхним уровнем иерархии, является технико-экономическое обоснование закупки;

Актуальные остатки, отражают текущий сток склада и позволяют наблюдать текущую картину по количеству непроданного товара, хранящегося на складе;

Отражение плановых показателей технико-экономического обоснования важно для наглядного отображения запланированной экономической выгоды;

Поступление товаров;

Дополнительные расходы, включаемые в себестоимость;

Реализация товаров;

Косвенные расходы, не включенные в себестоимость;

Фактические показатели отражают план-факторный анализ в разрезе технико-экономического обоснования закупки.

На втором шаге осуществляется выбор разреза анализа экономической деятельности в рамках ТЭО.

На третьем шаге описываются алгоритмы расчета по позициям разрабатываемого документа.

Разработанный таким образом документ оценки результатов экономической деятельности отображает все необходимые ключевые параметры для анализа эффективности продаж в рамках документа технико-экономического обоснования. Данный механизм позволяет оценить результат экономической деятельности. При этом следует отметить, что выборка параметров в документе является слишком объемной, что затрудняет его анализ. Поэтому необходима структуризация вычисленных данных в удобный для аналитики формат.

Таким форматом, является графический формат, который позволяет наилучшим способом оценить ситуацию по изменению ключевых показателей. Можно предложить следующий список графиков:

Выполнение плана менеджерами по продажам;

Длительность хранения остатков;

Процент возвращаемого товара;

Ожидаемые убытки;

Корреляция рентабельности и цены продажи;

Структура доходности;
Динамика операционной прибыли;
Частотный график прибыли.

На основании представленных графиков руководящий менеджмент будет иметь инструмент, позволяющий проводить полноценный анализ статистических данных, позволяющий более глубоко понять наметившиеся тенденции спада/роста продаж, выявить перспективные и бесперспективные виды продукции и прочее.

Assessment of the results of economic activity for management decision-making

Chaika N.K.
MAI, Moscow, Russia

One of the most pressing problems in assessing the profitability of invested capital in the purchase of goods is the problem of evaluation in a dynamically changing environment in real time. The essence of this task boils down to the fact that it is necessary to obtain leading key indicators at any stage of the life cycle of the purchased goods.

To solve this problem, it is proposed to create a universal document that will reflect all the main indicators at various stages of the existence of the product in the operational circuit.

The first step in developing a document is to compile its structure, description of the main sections. When developing the sections, the analysis of business processes was taken into account and the main task to be solved was to display key indicators taking into account all stages of the product life cycle.

The main sections in the document being developed are:

Feasibility study – the fundamental document, which will be the top level of the hierarchy, is the feasibility study of the purchase;

Current balances reflect the current stock flow and allow you to observe the current picture of the quantity of unsold goods stored in the warehouse;

Reflection of the planned indicators of the feasibility study is important for visual display of the planned economic benefits;

Receipt of goods;

Additional costs included in the cost price; Sale of goods; Indirect costs not included in the cost price;

Actual indicators reflect the plan-factor analysis in the context of the feasibility study of the purchase.

At the second step, the section of the analysis of economic activity within the framework of the feasibility study is selected.

The third step describes the calculation algorithms for the positions of the document being developed.

The document developed in this way for assessing the results of economic activity displays all the necessary key parameters for analyzing the effectiveness of sales within the framework of the feasibility study document. This mechanism allows you to evaluate the result of economic activity. At the same time, it should be noted that the selection of parameters in the document is too voluminous, which makes it difficult to analyze it. Therefore, it is necessary to structure the calculated data into a format convenient for analytics.

Such a format is a graphical format that allows the best way to assess the situation by changing key indicators. You can offer the following list of schedules:

The implementation of the plan by sales managers;

The duration of storage of balances;

The percentage of returned goods; Expected losses;

Correlation of profitability and sales price;

Profitability structure;

Dynamics of operating profit;

Frequency profit schedule.

Based on the presented graphs, the management management will have a tool that allows for a full-fledged analysis of statistical data, allowing for a deeper understanding of the emerging trends of decline/growth in sales, identifying promising and unpromising types of products, and so on.

Организация уровневого обучения английскому языку в МАИ: трудности и перспективы

Чуксина О.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Преимущества уровневого обучения общепризнаны в методике преподавания иностранных языков. Уровневое обучение постепенно заменяет обучение в смешанных группах как в языковых, так и в неязыковых вузах. Дифференциация студентов по уровню призвана повысить дидактический потенциал группового обучения. В дифференцированной группе студенты имеют больше мотивации к совместной работе и, как правило, испытывают больший психологический комфорт.

Актуальность изучения оптимального способа организации уровневого обучения в МАИ определяется несоответствием заявленных в программе требований к результатам обучения иностранному языку в неязыковых вузах реальному уровню владения иностранным языком выпускников.

Цель исследования заключается в поиске оптимального способа организации уровневого обучения иностранному языку в МАИ. Задачи исследования включают:

-определение влияния несоответствия уровня на мотивацию к обучению и посещаемость занятий;

• Анализ результатов диагностического тестирования первокурсников для последующего уровневого обучения в группах;

• Сравнение результатов лексико-грамматического теста и онлайн тестирования первокурсников в области грамматики и аудирования;

• Определение перспектив организации уровневого обучения иностранному языку в МАИ.

Методология исследования включает многолетнее наблюдение за взаимодействием студентов на уроках; опрос 97 первокурсников для уточнения влияния несоответствия уровню группы на мотивацию; диагностическое онлайн тестирование грамматики, аудирования и лексико-грамматический тест в печатном виде.

В опросе большинство респондентов указали несоответствие уровню обучения в качестве основной причины отсутствия мотивации и пропуска занятий без уважительной причины. По результатам диагностического тестирования и собеседования на кафедре И-11 "Иностранные языки для аэрокосмических специальностей" МАИ студенты 1 института распределены в соответствии с европейской шкалой уровней. Сформированы группы A1, A2, B1, B2, при этом группы A2 и B1 составили большинство. Отметим, что результаты лексико- грамматического теста и онлайн тестирования варьируются незначительно. Более того студенты в целом оценивают себя соответственно и с распределением согласны.

В перспективе потребуется уточнить вариативность содержания обучения студентов уровня A1, B2 в рамках действующей программы. Кроме того, дифференциация уровней владения иностранным языком может повлечь необходимость конкретизировать результат обучения по дисциплине "Иностранный язык", например, "отлично" – B2.

Многолетнее опытное обучение и наблюдение за взаимодействием студентов на уроке позволило выявить дополнительные факторы, препятствующие эффективному взаимодействию студентов в группе. Следует признать, что готовность к работе в группе во многом определяется также психологическими особенностями обучающихся. Такой экстралингвистический фактор как чрезмерный индивидуализм современных студентов приводит к избирательности внимания на уроке. Действительно, студенты более активны при выполнении индивидуальных заданий и редко интересуются ответами других студентов. В результате низкая вовлеченность всех участников учебного процесса ограничивает взаимопомощь, поддержку более слабым студентам в любой группе. Именно на это целесообразно обратить внимание при организации уровневого обучения в вузе.

Organization of level-based English training at MAI: difficulties and prospects

Chuksina O.V.
MAI, Moscow, Russia

The advantages of level-based learning are generally recognized in the methodology of teaching foreign languages. Level-based education is gradually replacing education in mixed groups in both linguistic and non-linguistic universities. Differentiation of students by level is designed to increase the didactic potential of group learning. In a differentiated group students have more motivation to work together and, as a rule, experience greater psychological comfort.

Looking for the optimal way of organizing level-based English training in MAI is determined by the contradiction between the requirements stated in the program for the non-linguistic universities and the real level of foreign language proficiency of graduates.

The purpose of the study is to find the optimal way to organize the level-based English training in MAI. The research objectives include:

to determine the effect of studying in mixed-ability groups level on the motivation to study and attend classes;

• To analyze the diagnostic tests results of first-year students;

• To compare the results of the lexico-grammatical test and online grammar and listening testing of first-year students;

• To determine the prospects for the organization of level-based English teaching in MAI.

The research methodology includes long-term monitoring of students' interaction in the classroom; a survey of 97 first-year students to clarify the effect of studying in mixed-ability groups on motivation; diagnostic online testing of grammar, listening and a lexico-grammatical test in printed form.

In the survey, the majority of respondents indicated non-compliance with the level of education as the main reason for lack of motivation and missing classes without a valid reason. According to the results of diagnostic testing and interviews at the department I-11 "Foreign languages for aerospace specialties" MAI students of the 1st Institute are distributed in accordance with the European scale of levels. Groups A1, A2, B1, B2 were formed, while groups A2 and B1 made up the majority.The results of the lexico-grammatical test and online testing vary slightly. Moreover, students generally evaluate themselves accordingly and agree with the distribution.

In the future, it will be necessary to clarify the variability of teaching content at the A1, B2 levels within the framework of the current program. The differentiation of foreign language proficiency levels may cause the need to specify the result of training in the discipline "Foreign language", for example, "excellent" – B2.

Many years of teaching experience and observing the communication of students in the classroom allowed us to identify additional factors that hinder the effective interaction of students in the group. It should be recognized that the readiness to work in a group is also largely determined by the psychological characteristics of students. Such an extralinguistic factor as excessive individualism of modern students leads to selective attention in the lesson. Indeed, students are more active when performing individual tasks and are rarely interested in the answers of other students. As a result, the low involvement of all participants in the educational process limits mutual assistance and support to weaker students in any group. This fact should be taken into account when organizing level training at a university.

Проекты по оптимизации непрофильных задач конструкторских подразделений

Шумских И.Ю.
АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара, Россия

По личным подсчетам автора работы, у сотрудников конструкторских подразделений АО «РКЦ «Прогресс» непрофильные задачи (охрана труда, хозяйственно-бытовые вопросы, противопожарные мероприятия и пр.) занимают почти пятую часть рабочего времени. Эта дополнительная нагрузка не учитывается при планировании и приводит к нерациональному использованию рабочего времени, «перегрузу» сотрудников, затягиванию сроков выполнения

основных работ и, в конечном счете, снижению эффективности работы конструкторских подразделений.

Целью настоящей работы является разработка программы проектов по внедрению комплексов мероприятий (каждый по отдельному направлению), повышающих эффективность работы конструкторских подразделений АО «РКЦ «Прогресс» путем оптимизации непрофильных задач.

Указанная цель определила постановку следующих задач:

• Разработать по направлениям комплексы мероприятий по повышению производительности конструкторских подразделений АО «РКЦ «Прогресс» путем оптимизации непрофильных задач;

• Разработать программу проектов внедрения комплексов мероприятий по оптимизации непрофильных задач конструкторских подразделений АО «РКЦ «Прогресс».

В ходе работы разработаны три комплекса мероприятий, нацеленных на повышение производительности конструкторских подразделений АО «РКЦ «Прогресс» путем оптимизации их непрофильных задач. Направления комплексов мероприятий:

1. Контроль выполнения задач.
2. Порядок планирования работ.
3. Организационная структура.

Также, для каждого комплекса разработан проект внедрения. Все проекты объединены в одну программу, для которой составлен подробный календарный план реализации. В результате проведенного исследования были предложены следующие рекомендации:

• По реинжинирингу системы контроля выполняемых задач;

• По изменению порядка оценки трудоемкости и планирования работ;

• По структурным преобразованиям.

Помимо положительного экономического эффекта в виде экономии предприятием от 1,6 до 3,1 млн. рублей в месяц, выполнение указанных рекомендаций обеспечит:

• Повышение производительности и качества выполняемых работ;

• Повышение управляемости подразделениями;

• Рост мотивации и вовлеченности персонала;

• Соблюдение сроков выполнения работ;

• Сокращение сроков выполнения работ.

Литература:

1. Винокур М.Е. Организация производства и менеджмент. Учебно-методический комплекс / М.Е. Винокур. – М.: Проспект, 2021. – 168 с.

2. Тебекин А.В. Менеджмент: учебник / А.В. Тебекин. – Москва: ИНФРА-М, 2020. – 384 с.

Projects to optimize non-core tasks of design divisions

Shumskikh I.Y.

JSC “RSC “Progress”, Samara, Russia

By personal calculations of the author of the paper, non-core tasks (occupational safety, household problem, fire-prevention actions and so forth) occupy almost a fifth of the working time of JSC «RSC «Progress» design divisions staff. This additional loading is not considered when scheduling and leads to irrational use of working hours, «overload» of staff, increasing profile task duration and, eventually, decrease in efficiency of design divisions.

The purpose of the paper is to develop the projects program for implementation of the set of actions (each in their particular direction) increasing the efficiency of design divisions by optimizing non-core tasks.

This purpose has defined the following tasks:

• To develop a set of actions to increase productivity of JSC «RSC «Progress» design divisions by optimizing of non-core tasks;

• To develop the projects program for implementing the set of actions for optimizing non-core tasks of JSC «RSC «Progress» design divisions.

In the practical part of the paper I have developed three sets of actions aimed at increasing productivity of JSC «RSC «Progress» design divisions by optimizing their non-core tasks. The set of actions:

1. Monitoring the tasks implementation.
2. Scheduling procedure of works.
3. Organizational structure.

I have also developed a project of implementation for each complex. All projects are united in one program for which the detailed planned schedule of implementation is made. As a result of the conducted research we have come out with the following recommendations:

- Reengineering the monitoring system of the performed tasks;
- Changing the procedure of assessing labor input and scheduling the works;
- Structural transformations.

In addition to positive economic effect in the form of saving 1,6 to 3,1 million rubles a month of the enterprise budget, the implementation of these recommendations will provide:

- An increase of productivity and quality of the performed works;
- An increase of controllability by divisions;
- Growth of motivation and involvement of staff;
- Observance of works duration;
- Reduction of works completion.

Обучение переводу в неязыковом вузе

Яримака В.В.
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность данной работы заключается в том, что большинство публикаций на данную тему рассматривают переводческую активность, опираясь на лингвистическую теорию перевода. На данном этапе возникает потребность рассмотреть процесс перевода, учитывая когнитивные способности студента-переводчика. Долгое время исследования перевода концентрировались на выявлении характеристик продукта, а не на процессе. Однако, именно процесс создания конечного продукта пол названием перевод, представляет интерес для теоретиков и практиков перевода в настоящее время.

Целью данного исследования является определение факторов, влияющие на принятие информации и поиск оптимального варианта перевода.

Обзор работ. На необходимость рассматривать переводческую деятельность с точки зрения психологических особенностей указывали в своих работах И.А. Зимняя, А.А. Леонтьев, А.Д. Швейцер, а также, Джерри Т.М. Альтманн и Энтони Пим. Психология перевода рассматривает соотношение языка и мышления, изучая психологические особенности мышления на родном и иностранном языках с точки зрения общих черт и различий. Ключевым моментом нашего исследования является рассмотрение деятельности участников, вовлеченных в данный процесс, с точки зрения когнитивных и мыслительных процессов коммуникации, процесса познания и процесса управления личностью.

Исследования. В начале курса обучения проводилось тестирование студентов 2 курса МАИ для определения уровня владения языком. На основании полученных результатов формировались лексико-грамматические и текстовые задания.

Выводы. Выводы нашего исследования указывают на необходимость разработать систему упражнений, ориентированные на развитие логических операций студентов через анализ, сравнение, оценку, выбор правильного из множества, которые наилучшим образом будут способствовать развитию мыслительных операций студентов, и расположить их в логической последовательности, которая будет усиливать, но не противоречить усвоению учебного материала. Перевод – это не просто подстановка слов одного языка вместо слов другого языка, он всегда связан с определенными преобразованиями, зависящими от соотношения языков.

Translation training at a non-linguistic university

Yarimaka V.V.
MAI, Moscow, Russia

The relevance of this work lies in the fact that most publications on this topic consider translation activity based on the linguistic theory of translation. At this stage, there is a need to consider the translation process, taking into account the cognitive abilities of the student translator. For a long time, translation studies have focused on identifying product characteristics rather than the process. However, it is the process of creating the final product called translation that is of interest to translation theorists and practitioners at the present time.

The purpose of this study is to determine the factors influencing the acceptance of information and the search for the optimal translation option.

Overview of the works. The need to consider translation activities from the point of view of psychological characteristics was pointed out in their works by I.A. Zimnaya, A.A. Leontiev, A.D. Schweitzer, as well as Jerry T.M. Altmann and Anthony Pym. Psychology of translation examines the relationship between language and thinking, studying the psychological features of thinking in native and foreign languages in terms of common features and differences. The key point of our research is to consider the activities of the participants involved in this process from the point of view of cognitive and thought processes of communication, the process of cognition and the process of personality management.

Researches. At the beginning of the course of study, students of the 2nd year of MAI were tested to determine the level of language proficiency. Based on the results obtained, lexical-grammatical and text tasks were formed.

Conclusions. The conclusions of our study indicate the need to develop a system of exercises focused on the development of students' logical operations through analysis, comparison, evaluation, selection of the right one from the set that will best contribute to the development of students' mental operations, and arrange them in a logical sequence that will enhance, but not contradict, the assimilation of educational material. Translation is not just a substitution of words of one language instead of words of another language, it is always associated with certain transformations depending on the ratio of languages.

Алфавитный указатель

Index

A

Abgaryan V.K. 117
Afanasyev V.A. 87
Agapov A.V. 86
Agapov I.G. 446
Ageev P.A. 296
Ageev Y.D. 285
Akhmetzhanov R.V. 94
Akhramovich A.A. 509
Akimov A.A. 503
Akinshin R.V. 13
Alekseev I.E. 478
Alekseev O.A. 30
Alekseeva P.A. 504
Aleschenko A.S. 191
Alikin Yu.I. 293
Alpatov I.V. 89
Alsaeva O.S. 482
Amosov M.V. 398
Andreev P.I. 193
Andreychuk P.O. 348, 354
Andrievskaya N.V. 90
Andrievsky O.A. 90
Andriukhin N.D. 194
Anisimov S.A. 296
Antipov N.A. 422
Antonov V.A. 317
Apollonov D.V. 231, 256
Arkhangelsky Y.A. 16
Arkhipov A.N. 185
Arkhitskaya K.A. 87
Arsenieva N.V. 506
Arsenov A.V. 471
Arslangereev S.R. 14
Artamonov B.L. 75
Artamonov M.A. 159
Artemova M.A. 373
Artyushina G.G. 507
Aslanian G.G. 92
Aslanyan I.R. 120
Asseva V.A. 559
Astakhov S.A. 39, 440
Astapov A.N. 447, 468, 486
Avetisyan K.R. 228

B

Babaevsky P.G. 446, 456, 458, 489, 496
Babaytsev A.V. 449
Babkin A.V. 465, 488
Bagno D.V. 295
Bakhmatov P.V. 452
Bakulin V.N. 391
Balabanov R.A. 95
Balyasny K.V. 179, 201
Balyk V.M. 23, 357
Baranov M.S. 319
Baranov S.V. 144, 188
Bardin B.S. 382, 385
Barinov V.A. 413
Barmenkov E.Yu. 511, 579
Bashkatov V.V. 98
Basova A.N. 197
Basova V.P. 512
Batanov M.S. 96
Bautin A.A. 401
Bazaleeva K.O. 450
Bazanova E.S. 196
Beknazarova A.T. 586
Belichenko M.V. 383
Belousov N.A. 198
Belozerova I.N. 342, 378
Belski A.B. 315, 422
Belyaev I.V. 122
Belyavskii A.E. 320
Bersutskaya O.D. 374
Bespalov A.V. 492
Bessonov P.S. 401
Bibikova K.I. 231, 256
Biketova L.V. 119
Bikineeva A.P. 17
Birina V.V. 321
Biryukov I.D. 287
Biryukov V.I. 39
Blinov V.V. 268
Bobe L.S. 348, 354
Bodarev V.M. 70
Bodrov N.M. 534
Bodrova I.E. 199
Bogachev E.A. 480
Bogachev I.A. 314
Bolshikh A.A. 19, 50
Bondarenko D.A. 285
Bondarenko Y.A. 323
Borisenko I.A. 324
Borisov D.A. 179, 201
Borisov V.N. 139
Borisova E.V. 509, 521, 531
Borodkin N.M. 99
Borovik I.N. 175
Borovikov D.A. 89, 147
Borovkov D.K. 19
Botnar O.A. 238
Boukharov A.V. 102
Boukharova M.A. 102
Boykov A.A. 79
Bronnikov D.V. 295, 296
Brutyan M.A 11
Brykin V.A. 453
Bubnov V.V. 514, 530, 536
Bukharov S.V. 470
Bulakina M.B. 380, 420
Bulgakov B.A. 465, 488
Bultasheva A.A. 328
Burdin D.V. 455
Burdin S.S. 515
Burdina A.A. 515
Burdina A.A. 546
Burova A.Yu. 100
Butorin V.V. 202
Buyanov S.V. 204

C

Chaika N.K. 601
Chaplygin A.V. 493
Chebotarev Y.S. 378
Chekina E.A. 439
Chen Lei 78
Chernikova E.B. 280
Chernikova O.A. 258
Chernitsyn A.E. 534
Chernomorscky A.I. 258
Chernov D.V. 483
Chernykh A.S. 440

Chertykovtseva V.O. 379, 441
Cherveakov V.I. 573
Chervyakov A.A. 494
Choban V.M. 315, 422
Chuksina O.V. 603
Chulkov M.V. 76
Chusovitin N.V. 443
D

Dainov M.I. 522
Davidov A.D. 527
Davydov S.A. 274
Davydova A.D. 212
Dedova D.V. 393
Degtyarev S.V. 456, 458
Demchenko D.S. 117
Demchenko A.G 215
Demshevsky V.V. 314
Deniskin Yu.I. 27
Denisov M.D. 407
Denisova O.I. 528
Deryagin A.O. 119, 156
Detkin A.V. 26
Dianova E.V. 525
Dikarev V.A. 378
Dikova F.A. 537
Dmitrakov S.A. 213
Dmitriev A.S. 365
Dolgopolov A.V. 64
Doroshev A.S. 282
Drobotov V.B. 331
Druzhinin A.A. 215
Dubinets A.O. 461
Dubinina N.M. 514, 530, 536
Dunyashev D.A. 362, 364
Dvornikov M.V. 53, 329
Dvoryak P.A. 116
Dyakonenko E.V. 531
E

Efremov A.V. 24, 29, 42, 63
Efremov E.V. 29
Egorov A.S. 332
Egorova A.A. 222
Ekimovskaya A.A. 331
Elakov A.B. 480
Elovsky D.R. 373
Eremeenkova N.A. 573
Eremkina M.S. 120
Erikova A.M. 127, 170
Ermakov A.A. 209
Erofeev M.V. 31
Erokhin A.P. 27
Ershov V.S. 256
Espinosa Barcenas O.U. 83
Evdokimov O.A. 105, 114
Evstratov S.V. 453
Ezhov A.D. 45, 140
F

Fadeev D.V. 436
Fadeeva A.D. 225
Faranosov G.A. 13
Favorsky E.K. 212
Favorsky K.G. 212
Fedorenko A.O. 255
Fedorov A.A. 492
Fedorova A.R. 182
Fedortsov R.S. 476
Fedotikov I.D. 494
Fedotova M.A. 595
Fedulov V.I. 596
Feoktistova O.G. 172
Fetisov A.G. 561
Fevralskikh A.V. 413
Filina I.I. 150
Filippov D.V. 290
Filippov S.V. 165
Filippova D.R. 313
Firsyuk S.O. 347
Fiveisky V.Y. 598
Frolov V.A. 243
Frolov V.P. 599
Frolova E.O. 491
Fukin I.I. 443
G

Gadzhiev E.V. 291, 293
Galiev D.V. 259
Galkin S.S. 493
Galkin V.I. 474
Galkina E.E. 522
Galyuk N.A. 566
Gataulin P.A. 109
Gavrikov M.M. 282
Gavrilova A.V. 22
Gavva L.M. 43
Gaydarov D.D. 23, 357
Gerasimova K.V. 411
Ginzburg I.B. 209
Gladkaya K.V. 542
Gladky I.L. 110, 148
Glinkin G.V. 534
Golanov I.A. 326
Goldovsky A.A. 362, 364
Golov G.R. 499
Gonchar A.N. 72
Goncharenko V.I. 472
Gorbunov A.A. 111
Gorbunov G.L. 546
Gorelov A.O. 196
Gorelov B.A. 525, 527
Gorelov S.L 414
Gorodilov E.R. 211
Gorshkova O.Y. 406
Govorov A.A. 159
Grebenkin A.V. 232
Gribanov A.S. 387
Grigorieva A.A. 390
Grigorovskii V.V. 388
Grinev A.I. 314
Grishaeva S.A. 524
Grishina A.Y. 24
Grukov T.A. 373
Grunin A.N. 113
Guerra G.D. 83
Gulyaeva E.V. 212
Gursky G.I. 266
Gurtovaya G.V. 459
Guryanov A.I. 105, 114, 129, 152
Guryanova M.M. 152
Gusarov A.V. 92
Gusev E.L. 391
Gusev E.V. 326, 328
Gusev S.A. 525
Guseynov A.B. 358
Guskov A.A. 429
H

Hapkov O.M. 156, 445
Hartov S.A. 170
Hoa Van Dong 437
Hotkina E.S. 573
I

Ibragimov D.N. 411
Ignatkin Yu.M. 51, 58
Ilin D.Y. 219
Ilin E.V. 295, 296
Ilinskaya O.I. 124
Illarionov K.D. 479
Ilyin E.A. 395

Ilyushin P.A. 245, 396
Inozemtsev A.A. 110, 148
Ionov A.V. 86
Iordan Y.V. 337
Isaev V.V. 221
Ivanova A.M. 536
Ivanova G.A. 566
Ivchin V.A. 33, 37
J

Jeleznyakov A.G. 348
Jiganin A.Ya 259
K

Kabanov A.A. 398
Kadeev D.M. 317
Kadochnikov A.A. 240
Kalashnikov A.I. 34
Kalinin S.Yu 30
Kaloshina M.N. 525
Kamaletdinova G.R. 367
Kandyba K.S. 222
Kara G.Yu. 35
Karane M.S. 399
Karepin P.A. 125, 147
Kargaev M.V. 37
Karpuhina A.V. 224
Karpunova A.S. 275
Karshanov I.F. 537
Kartukov A.V. 304
Kasatikov N.N. 225
Kashin D.D. 368
Kataev A.V. 39
Kataev O.O. 59
Katanov M.A. 116
Katkov V.A. 338
Keidar M. 123
Kepitcina V.S. 586
Kepman A.V. 465, 488
Kerber L.S. 539
Keyno P.P. 227, 229, 248
Kharitonenkov A.I. 197
Khaustov A.A. 272
Khayrutdinova R.R. 492
Khisametdinov I.M. 274
Kholyakov A.E. 317
Khomutskaya O.V. 206, 275
Khoroshko L.L. 197
Khramtsov M.V. 277
Khvan A.V. 14
Khvoshnyanskaya E.A. 416
Kikina A.Yu. 378
Kim V.P. 144, 188
Kirpichev A.S. 148
Kiselev V.P. 45, 126
Kislykh A.V. 127
Kleptsov V.I. 401
Klevetov D.V. 423
Klochkov A.V. 69
Klochkova E.N. 228
Klyuev A.Y. 129
Knyazev K.A. 463
Kobzar A.D. 483
Kobzar A.N. 157
Kocherevskaya L.B 501
Kofanov A.S. 299
Kokutina A.S. 519
Kolbasov V.N. 232
Kolesova A.A. 132
Kolosko A.G. 165
Komarov R.S. 492
Kondratieva S.G. 291
Kondratyev D.V. 540
Kondryakov A.D. 133
Kononov N.O. 402
Kononova V.V. 114
Konova S.S. 370
Konovalov K.A. 205
Konovalova V.G. 542
Konstantinov S.G. 58
Kopiev V.F. 98
Kopylov D.A. 275
Kopylov I.A. 406
Korobkov M.A. 234
Korobov K.S. 464
Korol D.G. 297
Korolev D.D. 130, 135
Korolskii V.V. 43
Korotkov D.P. 403
Korotun V.L. 544
Korzun F.A. 42
Koshelev K.B. 430
Kosorukova O.V. 423
Kosteletskii V.P. 235, 280
Kostygova L.A. 499
Kotelnikov M.V. 136, 137
Kotlov M.A. 370
Kotov M.A. 493
Kotovich I.V. 45
Koval S.M. 40
Kovalenko A.S. 388
Kovaleva E.A. 231
Koveshnikov A.A. 341
Kovtun M.A. 522
Kovtunov S.S. 461
Kozhanov K.D. 367
Kozhevnikov G.D. 130, 135, 161
Kozlov I.O. 124
Kozlov N.A. 456, 458, 489
Kozlova E.G 569
Kozyrev N.A. 229
Kozyreva U.R. 521
Kraev V.M. 589
Krasavin D.S. 300
Krasilnikov D.V. 139
Krasnoperov P.M. 546
Kravchik T.N. 26
Krivykh.A.A. 14
Krylov S.S. 136, 137, 380
Krylova Y.A. 140
Kucheiko A.A. 343
Kudryavtseva I.A. 418
Kudryavtseva N.S. 342
Kulkov V.M. 347
Kuplinova A.N. 458
Kuprikov M.Yu. 26
Kupriyanova Y.A. 47
Kurbakov A.V. 548
Kurbakova S.N. 549
Kurilov V.B. 48
Kurkin E.I. 379, 441
Kushchev N.P. 551
Kushvakha Kh. N. 585
Kusov S.V. 290
Kuzmin E.V. 141
Kuzmin N.E. 139
Kuznetsov A.A. 395, 417, 443
Kuznetsov A.S. 302
Kuznetsov I.M. 216, 236, 262
Kuznetsov I.V. 46
Kuznetsov P.M. 194, 198, 250
L

Latypov E.R. 499
Lauta M.O. 344
Lebedev M.A. 368
Lee B.H. 347

Lelyuk S.V. 560
Leonidov N.V. 345
Leontyev M.K. 183
Lepeshkin A.R. 124, 143
Lesik E.S. 553
Lesnevskiy L.N. 151
Levchenko M.A. 404
Levchenko M.M. 404
Levicheva S.V. 501
Levitina A.M. 552
Lisakov Y.N. 119
Lisovskaya T.L. 321
Litvinovich N.V. 343, 351
Lobanova M.S. 465
Lobov V.A. 491
Lovitsky L.L. 406
Loza V.A. 304
Lukovsky M.A. 305
Lukyanov O.E. 83
Luneva A.A. 407
Luneva S.Y. 407
Lupachev D.K. 461
Lutoshkina A.E. 402
Lutsenko N.V. 50
Lyakhovetsky M.A. 130, 135, 151
Lyapina S.Y. 420
Lysenko S.V. 555
Lyubicheva A.N. 467

M

Makarov D.A. 556
Makarov N.N. 261
Makashov S.Yu. 98
Makeev P.V. 51, 58
Makhova Y.V. 191
Maksimov B.A. 409
Maksimov S.A. 396
Malakhova I.V. 406
Malasay E.A. 238
Malkova A.O. 266
Malyshev A.D. 53, 329
Mamedov O.S. 22
Mannanov M.Z. 332
Martirosov M.I. 393
Martyushov S.N. 410
Maryushina Z.L. 338
Mateshuk A.A. 558
Matkovskiy N.O. 371
Matulyak A.I. 468
Matveev A.M. 305, 387
Matveev V.A. 22
Matyukhova A.A. 511
Matyushev T.V. 53, 329
Maximov A.N. 238
Maximova I.D. 53, 329
Mayorov D.I. 476
Medvedskiy A.L. 393
Meldianova A.V. 560
Melkonyan R.V. 54
Melnikov A.V. 117, 144, 188
Melnikov V.M. 323
Merkur'ev D.V. 144, 188
Messineva E.M. 561
Mezina N.A. 559, 586
Michael Keidar 122
Mikhailenko L.V. 332
Mikhailov A.A. 596
Mikhailova L.V. 563
Minasyan V.B. 240
Minin A.K. 147
Mironenko A.V. 242
Mironov I.I. 368
Mirzoyan I.N. 147
Mishin N.S. 243
Mitrofanov O.V. 56, 57, 81
Moiseev D.V. 34
Moiseev V.S. 497
Mokhnacheva A.A. 411
Molkov O.V. 50
Monakhova V.P. 127, 170
Morozova M.V. 110, 148
Mosiuk V.N. 470
Moussa Hocine 413
Musatov R.L. 423
Myakotina S.K. 266
Myravyova N.V. 564

N

Nabieva D.G. 150
Nadiradze A.B. 104
Nasonov F.A. 54, 62, 74
Naumchenko V.P. 245, 396
Nazarov A.V. 268, 307
Negodyaev S.S. 417
Nekrasov V.V. 246
Nemtsev D.V. 159
Nepomniashchii G.K. 440
Nesterenko V.G. 141, 187, 190
Netelev A.V. 324, 344
Netrebskaya O.N. 373
Neverova N.V. 566
Nguyen V.V. 414
Nikitin S.O. 58
Nikitina E.V. 471
Nikolaev I.A. 151
Nikolaeva A.A. 72
Nikolichev I.A. 340
Nikolskaya E.E. 566
Norinskaya I.V. 429
Noskova K.R. 152
Nosov D.Y. 249
Nosov S.A. 250
Nosyrev A.N. 443
Novikov A.Y. 248

O

Obukhov V.A. 94, 154
Odinokov S.A. 579
Ofitserov V.P. 252
Ogarev I.S. 156
Okhrimenko N.I. 254
Oleshko V.S. 472
Omelchenko A.V. 251
Orlova O.A. 64
Oshorov A.D. 157
Osipov A.V. 430
Ostrikov N.N. 98
Ovchinnikova E.V. 291

P

Padalko S.N. 209
Pakhomov N.A. 159
Palchenko N.V. 46
Paleshkin A.V. 341
Paltievich A.R. 474
Panin Yu.V. 317
Pankratev S.M. 59
Panteleev A.V. 407, 416
Parafes' S.G. 47
Parkhaev V.A. 225
Paryshev S.E. 64
Pashkov V.S. 60
Pasternak Y.G. 310
Pavlenko O.V. 65, 413
Pavlov A.V. 348
Pechenyuk V.S. 59
Pendyurin V.A. 310

Perchikhin O.I. 255, 282
Perepechaev S.A. 79
Permiakov A.P. 62
Petrov D.A. 417
Petrov I.A. 476
Petrov K.S. 418
Petrova A.A. 256
Petrova E.N. 160
Petrukhin V.A. 258
Peysakhovich O.D. 117, 154
Pigosov E.A. 65
Pikunov D.G. 245, 396
Pilipenko A.A. 478
Pimenova O.V. 259
Pinegin A.A. 279
Platonov I.M. 140
Pleshanov A.N. 313
Plotnikova N.O. 420
Plykin E.I. 72
Plykina E.V. 261
Podberezniy A.V. 308
Pogodin V.A. 447, 486
Poltorak D.S. 368
Poperechnii S.S. 143
Popov D.A. 163
Popov E.O. 165
Popov Yu.I. 59, 60, 70
Popova D.D. 166
Pozhidaev A.A. 161
Pravidlo M.N. 362, 364
Prihodyko P.S. 263
Prilipko E.A. 479
Prodanik V.A. 63
Prokofiev M.V. 468
Pronin M.A. 64
Pronina V.A. 568
Pronkin A.A. 328
Pronkin A.N. 216, 236, 262
Proshkin V.Y. 350
Prosvirina N.V. 569
Pryadkin S.P. 315, 422
Pushkov S.G. 406
Putyatina L.M. 506
Puzanov A.V. 423
Pykhtin A.V. 437

Q

Qinwei Hu 143
Quijada Pioquinto Jose Gabriel 379

R

Rabinskiy L.N. 447
Rachkov A.A. 425
Ravikovich Yu.A. 185
Raytsis I.D. 480
Razdobarin A.M. 413
Remizov I.A. 169
Reslan M.G. 65
Reyman A.V. 167
Reznichenko G.M. 446
Ripetsky A.V. 464
Rod O.A. 50
Rodchenko V.V. 351
Rodionov N.V. 334, 533
Rodnikov A.V. 384, 426
Rogozhina L.A. 571
Rogozin R.E. 310
Romanow Y.A. 263
Romashova M.O. 170
Rtishcheva A.S. 486
Rublev D.O. 373
Ruchina N.V. 459
Rudenko E.V. 311
Rukavitsin S.N. 348, 354
Rusanova O.V. 60
Russkikh S.V. 352
Ryabchikov V.I. 293
Ryabkova G.V. 574
Rybakova L.V. 573
Rybiakov A.V. 172
Rybina A.S. 53, 329
Rykhlov N.V. 354
Ryzhenkov A.M. 191
Ryzhova E.S. 67

S

Sachkov I.E. 576
Safin R.M. 70
Sagalovich S.A. 69
Sakharova A.I. 48
Salienko N.V. 489, 496
Salnikov N.A. 354
Salyamov R.H. 307
Samoylenko N.A. 174
Samoylichenko M.A. 265
Samylovskiy I.A. 428
Santosh A. 65
Savushkina S.V. 151
Scherbakov A.I. 82
Selin A.I. 355
Semenov G.E. 211
Semenov V.V. 175
Semin A.Y. 313
Sendyurev S.I. 163
Senshina T.A. 317
Serebryansky S.A. 31, 35, 69
Sereznov A.I. 177
Sevostyanov A.S. 70, 72
Shadrinov A.V. 402
Shaposhnikov K.V. 183
Shatalin A.A. 496
Shelkov K.A. 19, 79, 435
Shelomanov D.A. 282
Shemetovets A.A. 187
Shevyakov A.O. 185
Sheypak O.A. 507
Shibaev V.M. 231
Shilov E.A. 144, 188
Shkalei I.V. 484
Shklyarchuk F.N. 352
Shkurin M.V. 81
Shlyaptseva A.D. 497
Shmachilin P.A. 291
Shramko K.K. 402, 461
Shtatnova V.S. 445
Shumaev E.V. 483
Shumskikh I.Y. 361, 604
Sidorenko S.S. 314
Silin N.D. 374
Siluyanov A.A. 227
Siluyanova M.V. 113, 180
Simonov V.L. 266
Sinitsyn A.A. 479
Skopinova A.V. 285
Smerdov N.S. 315
Smirnov K.K. 268, 307
Smirnov O.L. 209
Smirnov V.A. 376
Smirnova E.A. 579
Snegirev A.O. 482
Sobolev A.N. 290
Sokolov P.V. 90
Solodelov Yu.A. 367
Solovyev A.V. 245, 396
Solovyeva E.O. 328
Sorokin A.E. 522
Sorokin S.A. 16

Sotskov I.A. 357
Spirin A.A. 429
Stankevich A.M. 580
Starodumov A.V. 109, 167, 182
Starodumova I.M. 109, 167
Starostin D.A. 423
Stepanov D.V. 359
Stepanov F.I. 484
Stepanov K.P. 471
Stepanov V.V. 483
Steshenko I.G. 178
Strakhov R.D. 279
Strelets D.Yu. 73, 78
Strijhak S.V. 430, 432
Stroev V.V. 587
Stukalov M.A. 314
Subbotin D.E. 332
Sudilina E.V. 581
Sukhanov D.B. 432
Sukhov G.A. 433
Sukmanov I.V. 486
Suldina G.A. 593
Surkova E.V. 583
Surkova U.V. 583
Svetlichnyi A.A. 202
Svirsky Yu.A. 401
Svotina V.V. 154
Sychev A.V. 179, 201
Sychikov Yu.V. 293
Syomina N.P. 577
T

Tadin Tenzin 11
Taranenko A.V. 585
Tarasenko A.N. 180
Tarasova N.V. 586
Tarasova V.N. 595
Temchenko V.S. 297
Terekhov V.E. 488
Terentieva V.S. 468
Tereshko A.G. 159
Tiaglik M.S. 20
Tikhonov A.I. 539, 587
Tikhonov A.V. 527
Tikhonov G.V. 506
Tikhonov V.A. 589
Timofeev A.N. 463
Timofeev P.A. 463
Tinchurina D.R. 74
Tishkov V.V. 371
Titarev V.A. 13
Tkachev A.E. 326
Tkachuk M.O. 343, 351
Tokachev D.A. 130, 135, 161
Tokareva E.M. 591
Tregubenkov S.Y. 150
Tretyakov N.K. 358
Trifonov R.D. 79
Trishina S.A. 511
Trofimov M.A. 269
Troyanovsky M.A. 75
Trubcheninova A.A. 592
Tsukanov I.Yu. 467
Tsvetkova E.V. 450
Tsyrkov G.A. 279
Tsytsarkina D.V. 463
Turbin N.V. 43, 435
Turkin I.K. 355
Tyapkin P.S. 316
Tyunkov A.V. 123
U

Uglitskikh V.A. 270
Ukhov P.A. 380
Ushiyarov T.I. 271
Usovik I.V. 154, 359
Ustinov A.A. 489
Utiabaeva A.R. 461
Uvarov R.A. 593
V

Vafin K.M. 395
Valiullin V.V. 104
Valkov V.V. 205
Vantsov S.V. 206
Varlamova E.Y. 517
Vasilyev F.V. 206
Vaskova V.S. 384
Veremeenko K.K. 216, 236, 262
Veretennikov S.V. 105, 114, 132
Versin A.A. 107
Verten M.A. 119, 156
Vilesov A.G. 70, 72
Vinogradov I.V. 242
Vinogradov M.S. 289
Vlasenko V.V. 95
Vlasov S.V. 218
Vlasova S.V. 519
Volchkova A.S. 197
Volkov E.I. 479
Volkov E.V. 385, 433
Volkov M.I. 108
Voloshin A.I. 521
Vorobev D.A. 182
Voronin V.V. 370
Voronka T.V. 20
Voropaev R.A. 325
Vyatkov V.V. 169
Y

Yagopolsky A.G. 243
Yakimov M.Yu. 493
Yarimaka V.V. 591, 606
Yoon S.W. 340, 347
Yurkov A.D. 283
Yushkov Y.G. 123
Yusipov B.H. 190
Z

Zabolotsky A.M. 277
Zadoya M.V. 33
Zagidullin R.S. 334, 533
Zagidullin Sh.M. 404
Zaichik L.E. 16
Zairov A.V. 459
Zaitsev V.V. 394
Zakharova L.F. 534
Zamtfort B.S. 122
Zarubin V.V. 445
Zavialova N.A. 395, 417
Zaycev A.M. 22
Zaynetdinova G.T. 459
Zharkov M.V. 216, 236, 262
Zhechev Y.S. 218
Zheleznyy M.V. 450
Zheltenkov A.V. 577
Zheng Huang 73
Zhestkov B.E. 447
Zhornik M.N. 132
Zhukov A.A. 30, 201, 365
Zhuravlev A.A. 31
Zimin A.A. 221
Zinkevich V.P. 336
Zolotukhin D.B. 123
Zubko A.A. 388
Zunina N.V. 596
Zveryaev E.M. 437
А

Абгарян В.К. 117

Аветисян К.Р. 227
Агапов А.В. 85
Агапов И.Г. 445
Агеев П.А. 295
Агеев Ю.Д. 285
Акимов А.А. 502
Акиньшин Р.В. 12
Алексеев И.Е. 477
Алексеев О.А. 29
Алексеева П.А. 503
Алещенко А.С. 191
Аликин Ю.И. 292
Алпатов И.В. 88
Алсаева О.С. 481
Амосов М.В. 397
Андреев П.И. 192
Андрейчук П.О. 347, 353
Андриевская Н.В. 89
Андриевский О.А. 89
Андрюхин Н.Д. 194
Анисимов С.А. 295
Антипов Н.А. 421
Антонов В.А. 317
Аполлонов Д.В. 230, 256
Арсёнов А.В. 471
Арсеньева Н.В. 505
Арслангереев С.Р. 14
Артамонов Б.Л. 75
Артамонов М.А. 158
Артёмова М.А. 372
Артюшина Г.Г. 507
Архангельский Ю.А. 15
Архипов А.Н. 184
Архицкая К.А. 86
Асеева В.А. 558
Асланян Г.Г. 91
Асланян И.Р. 119
Астапов А.Н. 447, 467, 485
Астахов С.А. 38, 439
Афанасьев В.А. 86
Ахметжанов Р.В. 93
Ахрамович А.А. 508

Б

Бабаевский П.Г. 445, 456, 457, 489, 495
Бабайцев А.В. 448
Бабкин А.В. 465, 487
Багно Д.В. 294
Базалеева К.О. 449
Базанова Е.С. 195
Бакулин В.Н. 390
Балабанов Р.А. 95
Балык В.М. 22, 356
Балясный К.В. 179, 200
Баранов М.С. 318
Баранов С.В. 143, 187
Бардин Б.С. 381, 385
Баринов В.А. 412
Барменков Е.Ю. 510, 578
Басова А.Н. 196
Басова В.П. 511
Батанов М.С. 96
Баутин А.А. 400
Бахматов П.В. 451
Башкатов В.В. 97
Бекназарова А.Т. 585
Беличенко М.В. 382
Белозерова И.Н. 341, 377
Белоусов Н.А. 197
Бельский А.Б. 314, 421
Белявский А.Е. 319
Беляев И.В. 121
Берсуцкая О.Д. 373
Беспалов А.В. 492
Бессонов П.С. 400
Бибикова К.И. 230, 256
Бикетова Л.В. 118
Бикинеева А.П. 16
Бирина В.В. 321
Бирюков В.И. 38
Бирюков И.Д. 286
Блинов В.В. 267
Бобе Л.С. 347, 353
Богачев Е.А. 479
Богачев И.А. 313
Бодарев В.М. 69
Бодров Н.М. 533
Бодрова И.Е. 199
Бойков А.А. 79
Больших А.А. 18, 49
Бондаренко Д.А. 285
Бондаренко Ю.А. 322
Борисенко И.А. 323
Борисов В.Н. 138
Борисов Д.А. 179, 200
Борисова Е.В. 508, 520, 530
Боровик И.Н. 175
Боровиков Д.А. 88, 145
Боровков Д.К. 18
Бородкин Н.М. 98
Ботнарь О.А. 237
Бочкарев С.В. 159
Бронников Д.В. 294, 295
Брутян М.А. 11
Брыкин В.А. 453
Бубнов В.В. 513, 529, 535
Булакина М.Б. 380, 419
Булгаков Б.А. 465, 487
Булташева А.А. 327
Бурдин Д.В. 454
Бурдин С.С. 514
Бурдина А.А. 514, 544
Бурова А.Ю. 100
Буторин В.В. 201
Бухаров А.В. 101
Бухаров С.В. 469
Бухарова М.А. 101
Буянов С.В. 203

В

Валиуллин В.В. 103
Вальков В.В. 204
Ванцов С.В. 205
Варламова Е.Ю. 516
Васецкий С.О. 207
Васильев Ф.В. 205
Васькова В.С. 383
Вафин К.М. 395
Веремеенко К.К. 215, 236, 261
Веретенников С.В. 104, 114, 131
Версин А.А. 106
Вертен М.А. 118, 155
Вилесов А.Г. 69, 71
Виноградов И.В. 241
Виноградов М.С. 288
Власенко В.В. 95
Власов С.В. 217
Власова С.В. 517
Волков Е.В. 385, 433
Волков Е.И. 478
Волков М.И. 107
Волошин А.И. 520
Волчкова А.С. 196

Воробьев Д.А. 181
Воронин В.В. 369
Воронка Т.В. 20
Воропаев Р.А. 324
Вятков В.В. 168
Г

Гавва Л.М. 43
Гавриков М.М. 281
Гаврилова А.В. 21
Гаджиев Э.В. 290, 292
Гайдаров Д.Д. 22, 356
Галиев Д.В. 258
Галкин В.И. 473
Галкин С.С. 493
Галкина Е.Е. 521
Галюк Н.А. 565
Гатаулин П.А. 108
Герасимова К.В. 411
Гинзбург И.Б. 208
Гладкая К.В. 541
Гладкий И.Л. 109, 148
Глинкин Г.В. 533
Говоров А.А. 158
Голанов И.А. 326
Голдовский А.А. 362, 363
Голов Г.Р. 499
Гончар А.Н. 71
Гончаренко В.И. 472
Горбунов А.А. 110
Горбунов Г.Л. 544
Горелов А.О. 195
Горелов Б.А. 525, 526
Горелов С.Л. 413
Городилов Е.Р. 210
Горшкова О.Ю. 405
Гребёнкин А.В. 232
Грибанов А.С. 386
Григоровский В.В. 387
Григорьева А.А. 389
Гринёв А.Ю. 313
Гришаева С.А. 523
Гришина А.Ю. 23
Груков Т.А. 372
Грунин А.Н. 112
Губин Б.Д. 159
Гуерра Г.Д. 83
Гуляева Е.В. 211
Гурский Г.И. 266
Гуртовая Г.В. 458
Гурьянов А.И. 104, 114, 128, 151
Гурьянова М.М. 151
Гусаров А.В. 91
Гусев Е.В. 326, 327
Гусев Е.Л. 390
Гусев С.А. 525
Гусейнов А.Б. 357
Гуськов А.А. 428
Д

Давыдов А.Д. 526
Давыдов С.А. 273
Давыдова А.Д. 211
Дайнов М.И. 521
Дворников М.В. 52, 329
Дворяк П.А. 115
Дегтярев С.В. 456, 457
Дедова Д.В. 392
Демченко А.Г. 213
Демченко Д.С. 117
Демшевский В.В. 313
Денискин Ю.И. 26
Денисов М.Д. 406
Денисова О.И. 527
Дерягин А.О. 118, 155
Деткин А.В. 25
Дианова Е.В. 525
Дикарев В.А. 377
Дикова Ф.А. 536
Дмитраков С.А. 212
Дмитриев А.С. 365
Долгополов А.В. 64
Дорошев А.С. 281
Дроботов В.Б. 330
Дружинин А.А. 213
Дубинец А.О. 460
Дубинина Н.М. 513, 529, 535
Дуняшев Д.А. 362, 363
Дяконенко Е.В. 530
Е

Евдокимов О.А. 104, 114
Евстратов С.В. 453
Егоров А.С. 331
Егорова А.А. 221
Ежов А.Д. 44, 139
Екимовская А.А. 330
Елаков А.Б. 479
Еловский Д.Р. 372
Еремеенкова Н.А. 572
Еремкина М.С. 119
Ерикова А.М. 127, 169
Ермаков А.А. 208
Ерофеев М.В. 31
Ерохин А.П. 26
Ершов В.С. 256
Ефремов А.В. 23, 28, 41, 63
Ефремов Е.В. 28
Ж

Жарков М.В. 215, 236, 261
Железный М.В. 449
Железняков А.Г. 347
Желтенков А.В. 576
Жестков Б.Е. 447
Жечев Е.С. 217
Жиганин А.Я. 258
Жорник М.Н. 131
Жуков А.А. 29, 200, 365
Журавлев А.А. 31
З

Заболоцкий А.М. 276
Завьялова Н.А. 395, 416
Загидуллин Р.С. 333, 532
Загидуллин Ш.М. 404
Задоя М.В. 32
Заиров А.В. 458
Зайнетдинова Г.Т. 458
Зайцев А.М. 21
Зайцев В.В. 393
Зайчик Л.Е. 15
Замтфорт Б.С. 121
Зарубин В.В. 444
Захарова Л.Ф. 533
Зверяев Е.М. 437
Зимин А.А. 220
Зинкевич В.П. 335
Золотухин Д.Б. 122
Зубко А.А. 387
Зунина Н.В. 596
И

Ибрагимов Д.Н. 411
Иванова А.М. 535
Иванова Г.А. 565
Ивчин В.А. 32, 36
Игнаткин Ю.М. 50, 57
Илларионов К.Д. 478
Ильин Д.Ю. 218
Ильин Е.А. 395

Ильин Е.В. 294, 295
Ильинская О.И. 123
Илюшин П.А. 244, 396
Иноземцев А.А. 109, 148
Ионов А.В. 85
Иордан Ю.В. 337
Исаев В.В. 220
К

Кабанов А.А. 397
Кадеев Д.М. 317
Кадочников А.А. 239
Калашников А.И. 33
Калинин С.Ю. 29
Калошина М.Н. 525
Камалетдинова Г.Р. 366
Кандыба К.С. 221
Капицина В.С. 585
Кара Г.Ю. 34
Каранэ М.С. 398
Каргаев М.В. 36
Карепин П.А. 124, 146
Карпунова А.С. 274
Карпухина А.В. 223
Картуков А.В. 303
Каршанов И.Ф. 536
Касатиков Н.Н. 225
Катаев А.В. 38
Катаев О.О. 58
Катанов М.А. 115
Катков В.А. 338
Кашин Д.Д. 367
Кейно П.П. 226, 229, 247
Кепман А.В. 465, 487
Кербер Л.С. 538
Кикина А.Ю. 377
Ким В.П. 143, 187
Ким Хаён 339, 340
Кирпичев А.С. 148
Киселёв В.П. 44, 125
Кислых А.В. 127
Клеветов Д.В. 422
Клепцов В.И. 400
Клочков А.В. 68
Клочкова Е.Н. 227
Клюев А.Ю. 128
Князев К.А. 462
Кобзарь А.Д. 483
Кобзарь А.Н. 157
Ковалева Е.А. 230
Коваленко А.С. 387
Коваль С.М. 40
Ковешников А.А. 340
Ковтун М.А. 521
Ковтунов С.С. 460
Кожанов К.Д. 366
Кожевников Г.Д. 129, 134, 160
Козлов И.О. 123
Козлов Н.А. 456, 457, 489
Козлова Е.Г. 568
Козырев Н.А. 229
Козырева У.Р. 520
Кокутина А.С. 517
Колбасов В.Н. 232
Колесова А.А. 131
Колосько А.Г. 164
Комаров Р.С. 492
Кондратьев Д.В. 539
Кондратьева С.Г. 290
Кондряков А.Д. 133
Конова С.С. 369
Коновалов К.А. 204
Коновалова В.Г. 541
Кононов Н.О. 401
Кононова В.В. 114
Константинов С.Г. 57
Копылов Д.А. 274
Копылов И.А. 405
Копьев В.Ф. 97
Корзун Ф.А. 41
Коробков М.А. 233
Коробов К.С. 463
Королев Д.Д. 129, 134
Король Д.Г. 297
Корольский В.В. 43
Коротков Д.П. 402
Коротун В.Л. 543
Косорукова О.В. 422
Костелецкий В.П. 234, 280
Костыгова Л.А. 499
Котельников М.В. 135, 137
Котлов М.А. 369
Котов М.А. 493
Котович И.В. 44
Кофанов А.С. 298
Кочеревская Л.Б. 500
Кошелев К.Б. 429
Кравчик Т.Н. 25
Краев В.М. 588
Красавин Д.С. 299
Красильников Д.В. 138
Красноперов П.М. 544
Кривых А.А. 14
Крылов С.С. 135, 137, 380
Крылова Ю.А. 139
Кудрявцева И.А. 417
Кудрявцева Н.С. 341
Кузнецов А.А. 395, 416, 442
Кузнецов А.С. 301
Кузнецов И.В. 45
Кузнецов И.М. 215, 236, 261
Кузнецов П.М. 194, 197, 249
Кузьмин Е.В. 140
Кузьмин Н.Е. 138
Кульков В.М. 346
Куплинова А.Н. 457
Куприков М.Ю. 25
Куприянова Я.А. 47
Курбаков А.В. 547
Курбакова С.Н. 548
Курилов В.Б. 48
Куркин Е.И. 379, 441
Кусов С.В. 289
Кучейко А.А. 342
Кушваха Х.Н. 584
Кущёв Н.П. 550
Л

Латыпов Е.Р. 499
Лаута М.О. 343
Лебедев М.А. 367
Левитина А.М. 551
Левичева С.В. 500
Левченко М.А. 404
Левченко М.М. 404
Лелюк С.В. 559
Леонидов Н.В. 344
Леонтьев М.К. 182
Лепешкин А.Р. 123, 142
Лесик Е.С. 553
Лесневский Л.Н. 150
Ли Б.Х. 346
Лисаков Ю.Н. 118
Лисовская Т.Л. 321
Литвинович Н.В. 342, 350

Лобанова М.С. 465
Лобов В.А. 490
Ловицкий Л.Л. 405
Лоза В.А. 303
Луковский М.А. 304
Лукьянов О.Е. 83
Лунева А.А. 406
Лунева С.Ю. 406
Лупачев Д.К. 460
Лутошкина А.Е. 401
Луценко Н.В. 49
Лысенко С.В. 554
Любичева А.Н. 466
Ляпина С.Ю. 419
Ляховецкий М.А. 129, 134, 150

М

Майоров Д.И. 475
Макаров Д.А. 556
Макаров Н.Н. 260
Макашов С.Ю. 97
Макеев П.В. 50, 57
Максимов А.Н. 237
Максимов Б.А. 408
Максимов С.А. 396
Максимова И.Д. 52, 329
Маласай Е.А. 237
Малахова И.В. 405
Малышев А.Д. 52, 329
Малькова А.О. 266
Мамедов О.С. 21
Маннанов М.З. 331
Мартиросов М.И. 392
Мартюшов С.Н. 409
Марюшина З.Л. 338
Матвеев А.М. 304, 386
Матвеев В.А. 21
Матешук А.А. 557
Матковский Н.О. 370
Матуляк А.И. 467
Матюхова А.А. 510
Матюшев Т.В. 52, 329
Махова Ю.В. 191
Медведский А.Л. 392
Мезина Н.А. 558, 585
Мелконян Р.В. 53
Мельдианова А.В. 559
Мельников А.В. 117, 143, 187
Мельников В.М. 322
Меркурьев Д.В. 143, 187
Мессинева Е.М. 560
Минасян В.Б. 239
Минин А.К. 145
Мирзоян И.Н. 146
Мироненко А.В. 241
Миронов И.И. 367
Митрофанов О.В. 55, 56, 80
Михайленко Л.В. 331
Михайлов А.А. 596
Михайлова Л.В. 562
Мишин Н.С. 242
Моисеев В.С. 496
Моисеев Д.В. 33
Мольков О.Р. 49
Монахова В.П. 127, 169
Морозова М.В. 109, 148
Мосиюк В.Н. 469
Мохначева А.А. 411
Муравьева Н.В. 563
Мусатов Р.Л. 422
Мусса Хосин 412
Мякотина С.К. 266

Н

Набиева Д.Г. 149
Надирадзе А.Б. 103
Назаров А.В. 267, 306
Насонов Ф.А. 53, 61, 74
Наумченко В.П. 244, 396
Нгуен Л.В. 413
Неверова Н.В. 565
Негодяев С.С. 416
Некрасов В.В. 245
Немцев Д.В. 158
Непомнящий Г.К. 439
Нестеренко В.Г. 140, 186, 189
Нетелев А.В. 323, 343
Нетребская О.Н. 372
Никитин С.О. 57
Никитина Е.В. 471
Николаев И.А. 150
Николаева А.А. 71
Николичев И.А. 339
Никольская Е.Э. 565
Новиков А.Ю. 247
Норинская И.В. 428
Носкова К.Р. 151
Носов Д.Ю. 248
Носов С.А. 249
Носырев А.Н. 442

О

Обухов В.А. 93, 153
Овчинникова Е.В. 290
Огарёв И.С. 155
Одиноков С.А. 578
Олешко В.С. 472
Омельченко А.В. 251
Орлова О.А. 64
Осипов А.В. 429
Остриков Н.Н. 97
Офицеров В.П. 252
Охрименко Н.И. 253
Ошоров А.Д. 157

П

Павленко О.В 65
Павленко О.В. 412
Павлов А.В. 347
Падалко С.Н. 208
Палешкин А.В. 340
Палтиевич А.Р. 473
Пальченко Н.В. 45
Панин Ю.В. 317
Панкратьев С.М. 58
Пантелеев А.В. 406, 415
Парафесь С.Г. 47
Пархаев В.А. 225
Парышев С.Э. 64
Пастернак Ю.Г. 309
Пахомов Н.А. 158
Пашков В.С. 60
Пейсахович О.Д. 117, 153
Пендюрин В.А. 309
Перепечаев С.А. 79
Пермяков А.П. 61
Перчихин О.И. 254, 281
Петров Д.А. 416
Петров И.А. 475
Петров К.С. 417
Петрова А.А. 256
Петрова Е.Н. 159
Петрухин В.А. 257
Печенюк В.С. 58
Пигусов Е.А. 65
Пикунов Д.Г. 244, 396

Пилипенко А.А. 477
Пименова О.В. 258
Пинегин А.А. 278
Платонов И.М. 139
Плешанов А.Н. 312
Плотникова Н.О. 419
Плыкин Е.И. 71
Плыкина Е.В. 260
Погодин В.А. 447, 485
Подберезный А.В. 307
Пожидаев А.А. 160
Полторак Д.С. 367
Поперечный С.С. 142
Попов Д.А. 162
Попов Е.О. 164
Попов Ю.И. 58, 60, 69
Попова Д.Д. 165
Правидло М.Н. 362, 363
Прилипко Е.А. 478
Приходько П.С. 263
Проданик В.А. 63
Прокофьев М.В. 467
Пронин М.А. 64
Пронина В.А. 567
Пронкин А.А. 327
Пронькин А.Н. 215, 236, 261
Просвирина Н.В. 568
Прошкин В.Ю. 349
Прядкин С.П. 314, 421
Пузанов А.В. 422
Путятина Л.М. 505
Пушков С.Г. 405
Пыхтин А.В. 437

Р

Рабинский Л.Н. 447
Равикович Ю.А. 184
Раздобарин А.М. 412
Райцис И.Д. 479
Рачков А.А. 424
Резниченко Г.М. 445
Рейман А.В. 167
Ремизов И.А. 168
Реслан М.Г. 65
Рипецкий А.В. 463
Рогожина Л.А. 570
Рогозин Р.Е. 309
Род О.А. 49
Родионов Н.В. 333, 532
Родников А.В. 383, 426
Родченко В.В. 350
Романов Ю.А. 263
Ромашова М.О. 169
Ртищева А.С. 485
Рублев Д.О. 372
Руденко Е.В. 310
Рукавицин С.Н. 347, 353
Русанова О.В. 60
Русских С.В. 351
Ручина Н.В. 458
Рыбакова Л.В. 572
Рыбина А.С. 52, 329
Рыбьяков А.В. 171
Рыженков А.М. 191
Рыжова Е.С. 66
Рыхлов Н.В. 353
Рябкова Г.В. 573
Рябчиков В.И. 292

С

Савушкина С.В. 150
Сагалович С.А. 68
Салиенко Н.В. 489, 495
Сальников А.Ф. 159
Сальников Н.А. 353
Салямов Р.Х. 306
Самойленко Н.А. 173
Самойличенко М.А. 264
Самыловский И.А. 427
Сантош А. 65
Сафин Р.М. 69
Сахарова А.И. 48
Сачков И.Э. 575
Светличный А.А. 201
Свирский Ю.А. 400
Свотина В.В. 153
Севостьянов А.С. 69, 71
Селин А.И. 354
Семенов В.В. 175
Семёнов Г.Е. 210
Семин А.Ю. 312
Семина А.П. 576
Сендюрев С.И. 162
Сеньшина Т.А. 317
Серебрянский С.А. 31, 34, 68
Серьезнов А.И. 176
Сидоренко С.С. 313
Силин Н.Д. 373
Силуянов А.А. 226
Силуянова М.В. 112, 180
Симонов В.Л. 266
Синицын А.А. 478
Скопинова А.В. 285
Смердов Н.С. 314
Смирнов В.А. 375
Смирнов К.К. 267, 306
Смирнов О.Л. 208
Смирнова Е.А. 578
Снегирёв А.О. 481
Соболев А.Н. 289
Соколов П.В. 89
Соловьёв А.В. 244, 396
Соловьева Е.О. 327
Солоделов Ю.А. 366
Сорокин А.Е. 521
Сорокин С.А. 15
Соцков И.А. 356
Спирин А.А. 428
Станкевич А.М. 579
Стародумов А.В. 108, 167, 181
Стародумова И.М. 108, 167
Старостин Д.А. 422
Степанов В.В. 483
Степанов Д.В. 359
Степанов К.П. 471
Степанов Ф.И. 484
Стешенко И.Г. 177
Страхов Р.Д. 278
Стрелец Д.Ю. 72, 77
Стрижак С.В. 429, 431
Строев В.В. 586
Стукалов М.А. 313
Субботин Д.Е. 331
Судилина Е.В. 581
Сукманов И.В. 485
Сульдина Г.А. 592
Суркова Е.В. 582
Суркова У.В. 582
Суханов Д.Б. 431
Сухов Е.А. 433
Сычёв А.В. 179, 200
Сычиков Ю.В. 292

Т

Тараненко А.В. 584

Тарасенко А.Н. 180
Тарасова В.Н. 594
Тарасова Н.В. 585
Темченко В.С. 297
Терентьева В.С. 467
Терехов В.Е. 487
Терешко А.Г. 158
Тимофеев А.Н. 462
Тимофеев П.А. 462
Тинчурина Д.Р. 74
Титарев В.А. 12
Тихонов А.В. 526
Тихонов А.И. 538, 586
Тихонов В.А. 588
Тихонов Г.В. 505
Тишков В.В. 370
Ткачев А.Е. 326
Ткачук М.О. 342, 350
Токарева Е.М. 590
Токачев Д.А. 129, 134, 160
Трегубенков С.Ю. 149
Третьяков Н.К. 357
Трифонов Р.Д. 79
Тришина С.А. 510
Трофимов М.А. 268
Трояновский М.А. 75
Трубченинова А.А. 591
Турбин Н.В. 43, 434
Туркин И.К. 354
Тюньков А.В. 122
Тяглик М.С. 20
Тяпкин П.С. 315

У

Уваров Р.А. 592
Углицких В.А. 269
Усовик И.В. 359
Усовик Игорь 153
Устинов А.А. 489
Утябаева А.Р. 460
Ухов П.А. 380
Ушияров Т.И. 270

Ф

Фаворский Е.К. 211
Фаворский К.Г. 211
Фадеев Д.В. 436
Фадеева А.Д. 225
Фараносов Г.А. 12
Февральских А.В. 412
Федоренко А.О. 254
Федоров А.А. 492
Федорова А.Р. 181
Федорцов Р.С. 475
Федотиков И.Д. 494
Федотова М.А. 594
Федулов В.И. 596
Феоктистова О.Г. 171
Фетисов А.Г. 560
Фивейский В.Ю. 597
Филина И.И. 149
Филиппов Д.В. 289
Филиппов С.В. 164
Филиппова Д.Р. 312
Фирсюк С.О. 346
Фролов В.А. 242
Фролов В.П. 599
Фролова Е.О. 490
Фукин И.И. 442

Х

Хайрутдинова Р.Р. 492
Хапков О.М. 155, 444
Харитоненков А.И. 196
Хартов С.А. 169
Хаустов А.А. 271
Хван А.В. 14
Хвошнянская Е.А. 415
Хисаметдинов И.М. 273
Хоа Ван Донг 437
Холяков А.Е. 317
Хомутская О.В. 205, 274
Хорошко Л.Л. 196
Хоткина Е.С. 572
Храмцов М.В. 276
Хуан Чжэн 72

Ц

Цветкова Е.В. 449
Циньвей Ху 142
Цуканов И.Ю. 466
Цырков Г.А. 278
Цыцаркина Д.В. 462

Ч

Чайка Н.К. 600
Чаплыгин А.В. 493
Чеботарев Ю.С. 377
Чекина Е.А. 438
Червяков А.А. 494
Червяков В.И. 572
Черникова Е.Б. 280
Черникова О.А. 257
Черницын А.Е. 533
Чернов Д.В. 483
Черноморский А.И. 257
Черных А.С. 439
Чертыковцева В.О. 379, 441
Чобан В.М. 314, 421
Чуксина О.В. 602
Чулков М.В. 76
Чусовитин Н.В. 442
Чэнь Лэй 77

Ш

Шадринов А.В. 401
Шапошников К.В. 182
Шаталин А.А. 495
Шевяков А.О. 184
Шейпак О.А. 507
Шелков К.А. 18, 79, 434
Шеломанов Д.А. 281
Шеметовец А.А. 186
Шибаев В.М. 230
Шилов Е.А. 143, 187
Шкалей И.В. 484
Шклярчук Ф.Н. 351
Шкурин М.В. 80
Шляпцева А.Д. 496
Шмачилин П.А. 290
Шрамко К.К. 401, 460
Штатнова В.С. 444
Шумаев Е.В. 483
Шумских И.Ю. 360, 603

Щ

Щербаков А.И. 81

Э

Эспиноса Барсенас О.У. 83

Ю

Юн С.У. 339, 346
Юрков А.Д. 283
Юсипов Б.Х. 189
Юшков Ю.Г. 122

Я

Ягопольский А.Г. 242
Якимов М.Ю. 493
Яримака В.В. 590, 605

21-я Международная конференция
«Авиация и космонавтика»
Тезисы

21st International Conference
“Aviation and Cosmonautics”
(AviaSpace-2022)
Abstracts

Издательство «Перо»
109052, Москва, Нижегородская ул., д. 29-33, стр. 27, ком. 105
Тел.: +7 495 973-72-28, 665-34-36
Подписано к использованию 12.12.2022.
Объем 8,06 Мбайт. Электрон. текстовые данные. Заказ 1071.

Организатор I Organizer

Партнёры I Partners

Ростех

Вертолеты России

Швабе

ОДК

Контакты | Contacts
125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4
Volokolamskoe shosse, 4, Moscow, 125993
aviacosmos@mai.ru
aik.mai.ru