



22-я Международная конференция  
«Авиация и космонавтика»

# ТЕЗИСЫ



Москва, МАИ  
2023

**22-я Международная конференция  
«Авиация и космонавтика»**

**Тезисы**

Москва, МАИ  
20-24 ноября 2023 г.

УДК 629.7  
ББК 39.52:39.6я43  
С23

22-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 20-24 ноября 2023 года. Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2023 – 4,3 Мб [Электронное издание].

ISBN 978-5-00218-957-1

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).

ISBN 978-5-00218-957-1

©Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет), 2023

**Организатор**  
**Московский авиационный институт**  
**(национальный исследовательский университет)**

**Организационный комитет**

Шемаков А.О., проректор по стратегическому развитию — председатель  
Алифанов О.М., профессор кафедры 601 «Космические системы и ракетостроение» МАИ —  
руководитель направления «Ракетные и космические системы»  
Беспалов А.В., директор дирекции института № 11 «Материаловедение и технологии  
материалов» МАИ — руководитель направления «Новые материалы и производственные  
технологии в области авиационной и ракетно-космической техники»  
Булакина М.Б., директор IT-центра МАИ  
Кайсин Д.В., директор дирекции института № 14 «Передовая инженерная школа»  
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 «Компьютерные науки и прикладная  
математика» МАИ — руководитель направления «Математические методы и  
информационные технологии 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 «Экономика и менеджмент  
высокотехнологичной индустрии» 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»  
Стрелец Д.Ю., и.о. директора дирекции института № 1 «Авиационная техника» МАИ —  
руководитель направления «Авиационные системы»

## **Программный комитет**

Равикович Ю.А., и.о. проректора по научной работе — председатель  
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 металлургических процессов» МАИ  
Заговорчев В.А., начальник научно-исследовательского отделения института № 6 «Аэрокосмический» МАИ  
Замковой А.А., начальник управления научных программ и проектов 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 «Компьютерные науки и прикладная математика» МАИ  
Назаров Е.В., начальник лаборатории № 2 НИО-101 МАИ  
Силуянова М.В., профессор кафедры «Технология производства и эксплуатации двигателей летательных аппаратов» МАИ  
Терентьев В.В., начальник научно-организационного управления МАИ  
Тихонов Г.В., начальник научно-исследовательского отделения института № 5 «Экономика и менеджмент предприятий аэрокосмического комплекса»  
Шкурин М.В., старший преподаватель кафедры «Проектирование и сертификация авиационной техники» МАИ

## Оглавление

<b>1. АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ.....</b>	<b>6</b>
<b>2. АВИАЦИОННЫЕ, РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ.....</b>	<b>61</b>
<b>3. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ИНФОРМАТИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА.....</b>	<b>114</b>
<b>4. ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВИАЦИОННЫХ, РАКЕТНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....</b>	<b>190</b>
<b>5. РАКЕТНЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.....</b>	<b>203</b>
<b>6. РОБОТОТЕХНИКА, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И АВИАЦИОННОЕ ВООРУЖЕНИЕ .....</b>	<b>239</b>
<b>7. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ .....</b>	<b>246</b>
<b>8. НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ.....</b>	<b>280</b>
<b>9. ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ ПРЕДПРИЯТИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА .....</b>	<b>320</b>
<b>АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ .....</b>	<b>406</b>

# 1. Авиационные системы

## Влияние конструктивно-силовой схемы и материала агрегата на обеспечение прочности при условии минимума массы

Абрамов Я.С., Серебрянский С.А.

МАИ, г. Москва, Россия

При проектировании сложных авиационных систем перед конструктором стоит задача достижения поставленных требований, поиск компромиссов и решений, необходимых для создания оптимальной конструкции [1]. Наиболее частым ограничением при конструировании является необходимость обеспечения прочности при минимальной массе агрегата [2]. Для удовлетворения данному критерию прибегают к эвристическим методам по выбору конструктивно-силовых схем и материалов. В данной работе на примере стреловидного крыла трапецевидной формы будет описан один из подходов к снижению массы агрегатов [3].

В рамках данной работы был проведён прочностной и массовый расчёт новой конструктивно-силовой схемы крыла самолёта МиГ-31. Классическая трёхлонжеронная схема была заменена на моноблочную, что позволило уменьшить количество крепежа, а также изменить узлы стыковки отъёмной части крыла к фюзеляжу [4]. Главной особенностью разработанной конструкции является применение алюмо-бириллиевого сплава АБМ-3, который имеет высокую удельную прочность, а также является высокомодульным, тепло- и термостойким [5]. Данный материал является химически стойким за счёт прочной оксидной плёнки, имеет малую плотность.

Несмотря на невысокий, по сравнению со сталями, предел прочности, сплав АБМ-3 позволяет обеспечить необходимую прочность при сравнительно небольшом увеличении относительной толщины элементов конструкции. Говоря об увеличении относительной толщины, необходимо упомянуть увеличение момента инерции сечения, что также положительно сказывается на прочности конструкции. По итогам моей работы вес спроектированной конструкции стал меньше по сравнению с конструкцией прототипа на 52%.

Необходимо отметить, что данный сплав является высокотехнологичным: он является хорошо свариваемым, при этом отмечается упрочнение сварного шва при использовании лазерной сварки, внутренние части агрегатов, сделанные из данного сплава, не требуют обработки лакокрасочными покрытиями.

Литература:

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

2. Резулкульева Г.Г. Весовая модель конструкции агрегатов планера самолета на основе регрессионного анализа / Г.Г. Резулкульева, М.В. Майсак, С.А. Серебрянский // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: Сборник тезисов докладов. – Москва: ИД Академии имени Н. Е. Жуковского, 2023. – С. 130-132. – EDN ZLSOGB.

3. Абрамов Я.С., Оптимизации узлов и деталей авиационных конструкций / Я. С. Абрамов // Сборник трудов XV Всероссийской научно-практической конференции. Том 1. – Иркутск: 2023. – С. 8-13. – EDN UQSMHR.

4. Журавлев А.А. Исследования коэффициента осевой нагрузки для расчета проушин типа ухо - вилка / А.А. Журавлев, М.В. Ерофеев, С.А. Серебрянский // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: Сборник тезисов. – Москва: ИД Академии имени Н. Е. Жуковского, 2023. – С. 128-130. – EDN NKNEPU.

5. Абрамов Я.С. Применение сплавов на основе бериллия в конструкции агрегатов планера самолёта / Я.С. Абрамов // Гагаринские чтения - 2023: Сборник тезисов. – Москва: Издательство "Перо", 2023. – С. 22-23. – EDN UARGXB.

## **Исследование влияния геометрии проходного сечения канала на работу теплообменного аппарата**

<sup>1</sup>Адамян К.И., <sup>1</sup>Куприков М.Ю., <sup>2</sup>Дружинин А.А.

<sup>1</sup>МАИ, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>МФТИ, г. Долгопрудный, Россия

Теплообменные аппараты (ТОА) широко используются в различных отраслях промышленности для передачи тепла от одного теплоносителя к другому. Эффективность работы таких аппаратов зависит от многих факторов, включая геометрию проходного сечения каналов. В данном исследовании рассмотрено влияние различной геометрии проходных сечений каналов на характеристики воздухо-воздушных теплообменных аппаратов, используемых в составе самолетов.

Для проведения исследования использованы аналитические методы расчета и численное моделирование. Аналитические методы позволят получить основные зависимости и формулы, которые затем будут проверены и уточнены с помощью численного моделирования. Для моделирования используется специализированное программное обеспечение, которое позволит учитывать различные физические процессы и свойства материалов.

В рамках исследования рассмотрены несколько типов геометрии каналов:

- прямоугольного профиля с различными соотношениями сторон;
- круглого профиля;
- треугольного профиля.

Определены основные характеристики теплообменных аппаратов, на которые влияет геометрия каналов:

- коэффициент теплопередачи;
- гидравлическое сопротивление;
- масса и габаритные размеры;
- стоимость изготовления и эксплуатации.

На основании проведенного анализа спроектированы 3 модели ТОА, оптимальных для использования в составе системы отбора воздуха ближнемагистрального самолета.

Литература:

1. В.М. Кэйс, А.Л. Лондон, Компактные теплообменники. Пер. с англ. В.Я. Сидорова; Под ред. Ю. В. Петровского. — 2-е изд. — Москва: Энергия, 1967. — 223 с.;
2. Воронин Г.И., Конструирование машин и агрегатов систем кондиционирования. — Москва: Машиностроение, 1978. — 543 с.;
3. Дрейцер Г.А., Компактные теплообменные аппараты: Учебное пособие, — М.: МАИ, 1986. — 73 с.;
4. Воронин Г.И., Дубровский Е.В., Эффективные теплообменники. — Москва: Машиностроение, 1973. — 96 с.

## **Численное исследование особенностей аэродинамики ОДО при отделении ОГБ САС от аварийной РН на старте**

Аникеева М.И.

РКК «Энергия», г. Королёв, Россия

В случае аварии РН на участке выведения пилотируемого корабля на орбиту безопасность экипажа обеспечивается САС, ДУ которой отделяет возвращаемый аппарат (ВА) и уводит его на безопасное расстояние с последующей мягкой посадкой на парашютах. Одним из наиболее сложных для анализа является случай аварии РН на старте в условиях одновременного воздействия на ОГБ и ОРД струй ДУ и ветра и изменения расстояния между разделяющимися объектами.

Задача решалась в квазистатической постановке, расстояние изменялось дискретно от 0 до 5 диаметров мидела ВА. Скорость ветра и его ориентация относительно изделия задана с учетом ограничения его значений для РН данного класса. В работе представлены выборочные данные по аэродинамическим силам, действующим на ЗЭ и ОДО, необходимые для анализа их нагружения, а также данные по структуре течения, полям газодинамических

параметров (числа Маха, давления и плотности) около ОГБ и ОДО в функции скорости и направления ветра для различных расстояний между объектами.

Результаты:

1. Струи не оказывают прямого воздействия на поверхность ДО при отсутствии ветра. Влияние струй на АДХ в условиях старта не значительно.

2. Совместное действие струй ДУ и ветра обуславливают значительное (нелинейное) возрастание аэродинамических сил (продольной и нормальной), действующих на ОДО и ОГБ.

3. Выявлено, что в силу дискретного расположения сопел по окружности корпуса САС значения аэродинамических сил существенно зависит от направления действия ветра, достигая максимальных величин в диапазоне углов крена от 30 до 60 градусов.

4. При скорости ветра  $v_b \geq 20$  м/с реализуется некоторый критический режим течения, характеризующийся перестройкой структуры течения около разделяющихся объектов и интенсивным возрастанием аэродинамических сил, действующих на ОГБ и ОДО.

Выводы: благодаря выбранной аэродинамической компоновке ОГБ, принятым газодинамическим параметрам на срезах сопел ДУ, а также экранирующему действию корпуса ВА, газодинамические воздействия на ДО в составе РН незначительны, не превышают значений от чисто ветрового воздействия и критически не усугубляют аварийную ситуацию с РН.

Литература:

1. Аксенов А.А., FlowVision: индустриальная вычислительная гидродинамика. Компьютерные исследования и моделирование, 2017, 9(1), стр. 5-20.

2. Анисеева М.И., Дядькин А.А., Михайлов М.В. Влияние ветра на аэродинамику отделенного головного блока с включенной двигательной установкой при аварии на старте. Тезисы «Королёвские чтения-2023».

3. Анисеева М.И., Дядькин А.А., Михайлов М.В., Хатунцева О.Н. Оценка влияния на аэродинамические характеристики скорости движения ОГБ САС при отделении от аварийной ракеты на старте. Тезисы «65-ая Всероссийская научная конференция МФТИ», 2023.

### **Обоснование требований к комбинированной втулке винта при управлении перспективными летательными аппаратами конвертопланного типа**

Бегендигов А.А.  
МФТИ, г. Москва, Россия

Научно-методическая проблема при создании новых образцов конвертопланной техники заключается в корректном обосновании конструкции и аэродинамики двухрежимного воздушного винта или движителя. Этот движитель в различных режимах полета летательного аппарата должен изменять тягу в очень большом диапазоне. Традиционно для этой цели используются два способа: изменение оборотов винта и шага несущих или тянущих (толкающих) лопастей воздушного винта [2]. Однако синхронизация этих способов на практике очень непростая задача в переходном режиме полета, когда возникает косая обдувка лопастей воздушного винта вследствие изменения вектора приложения пропульсивной или подъемной силы и аэродинамического фокуса из-за поворота мотогондолы из вертикального в горизонтальное положение и наоборот. Известные схемы трансмиссий, приводов и втулок двухрежимных воздушных винтов, сочетающие в себе функции автомата перекося и механизма привода винта изменяемого шага, представляют собой сложные и громоздкие конструкции, объективно сдерживающие развитие актуального и востребованного класса летательных аппаратов конвертопланного типа [4].

Цель исследования заключается в улучшении параметров движения перспективного летательного аппарата конвертопланного типа во взлетно-посадочном, переходном и крейсерском горизонтальном полете, за счет рациональной конструкции и обоснования режимов работы комбинированной втулки винта при управлении лопастным движителем.

Научная новизна исследования – обоснование оригинального механизма привода втулки воздушного винта, за счет существенного расширения динамического диапазона изменения углов атаки, в зависимости от режима работы двигателя.

Для реализации исследования подготовлен виртуальный стенд трансмиссии и двигателя перспективного летательного аппарата конвертопланного типа.

Литература:

1. Александров В.Л. Воздушные винты. М. Оборонгиз, 1951.
2. Обуховский А.Д. Аэродинамика воздушного винта: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009.
3. Стариков Ю.Н. Коврижных Е.Н. Основы аэродинамики летательного аппарата: Учеб. пособие. – Ульяновск: УВАУ ГА, 2004.
4. Wayne Johnson /Rotorcraft Aeromechanics. Cambridge Aerospace Series, 2013.

### **Моделирование испытаний слоистых композитов с дефектами в виде расслоения**

Белоусов И.С., Железнов Л.П., Бурнышева Т.В.

ФАУ «СибНИА им. С.А. Чаплыгина», г. Новосибирск, Россия

Широкое распространение многослойных композитных материалов в авиационной отрасли обусловлено целым рядом преимуществ, которые они имеют в сравнении с традиционными конструкционными материалами: меньший вес, лучшие прочностные, жесткостные и теплофизические характеристики [1]. Однако, существует и ряд существенных недостатков, осложняющих их использование. Одним из таких недостатков является подверженность разнообразным механизмам разрушения вследствие неоднородности свойств композитов и их слоистой структуры. Одним из подобных типов дефектов являются нарушения связей между слоями композита, которые приводят к снижению жесткости и, следовательно, снижению критической нагрузки потери устойчивости соответствующих элементов конструкции. Существует большое количество работ, посвященных исследованию влияния наличия таких дефектов на конструкцию [2-6]. Данная работа посвящена анализу устойчивости пластин, выполненных из многослойного композитного материала, содержащих дефект в виде непрочлея. Для образцов подобного типа установлена связь между потерей устойчивости и началом роста дефекта, т. е. началом процесса расслоения [7-11]. Подробно поведение композитных пластин с дефектом в виде непрочлея под действием сжимающей нагрузки описано в работах [12, 13], в которых анализ проводился с помощью метода конечных элементов, а также различных аналитических и полуаналитических методов. В работе [14] представлено сравнение результатов, полученных для образцов с одним типом дефекта с помощью аналитического подхода с экспериментальными данными. В данной работе выполнено сопоставление конечно-элементного расчёта с результатами испытаний композитных образцов.

Были изготовлены образцы следующего вида: прямоугольная композитная пластина, выполненная из препрега Тогауса Т800, с дефектом в виде непрочлея. Предварительные непрочлеи имели форму прямоугольника и круга, непрочлеи в форме круга имели различный радиус и глубину расположения. Дефект имитировался с помощью добавления между слоями тефлоновой пленки соответствующей формы. Такой способ имитации дефекта показал себя эффективно при изготовлении образцов типа двойная консольная балка и пластина со сквозным непрочлеем [15].

Построение конечно-элементной модели образцов-пластин с предварительными дефектами проводилось с помощью двумерных элементов типа оболочка, учитывающих порядок расположения слоёв в укладке композитного пакета. Решалась нелинейная статическая задача с учетом потери устойчивости и дальнейшего закритического поведения. По результатам конечно-элементных расчетов были получены данные, согласующиеся с результатами, представленными в открытых источниках.

Далее образцы были испытаны на сжатие в соответствии со стандартом [16]. Данные о характере закритического поведения образцов, полученные из испытаний, не соответствуют полученным ранее с помощью конечно-элементной модели.

Для выяснения причин подобных расхождений результатов конечно-элементного анализа и экспериментальных данных было проведено более подробное конечно-элементное моделирование, в котором учитывалась часть оснастки, через которую передается нагрузка от испытательной машины к образцу. При решении нелинейной задачи статики первой формой потери устойчивости принята потеря устойчивости образца в районе оснастки. Такая конечно-элементная модель позволила получить результаты, соответствующие данным, полученным в испытаниях.

**Проведение расчетно-экспериментальных исследований, направленных на разработку как математической модели исследуемого объекта, так и нормативных требований по обеспечению проведения расчетно-экспериментальных исследований для создаваемых ВС малой авиации**

Виноградов О.Н., Овсянников М.О., Белоусов И.Ю., Аплетнева Т.И.

ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

На первом этапе был проведен анализ удобства для конструкторов (РДК) по проектированию самолетов в части определения необходимых и достаточных объемов работ по аэродинамике самолета при рациональном распределении этих работ на различных этапах создания ВС малой авиации.

В настоящее время растёт качество расчётных методов и полученные при их помощи данные, можно использовать на этапах аванпроекта и эскизного проектирования. Наличие значительного количества расчётов, не отменяет трубные испытания модели, но позволяет сократить их до приемлемого значения, которое будет удовлетворять потребностям, заложенным на каждом этапе проектирования

Был определен перечень требуемого нормативно-технического и нормативно-методического обеспечения разработки и создания ВС малой авиации по направлению аэродинамика на различных этапах проектирования.

В рамках проекта была изготовлена модель летательного аппарата (ЛА), представляющая собой модульную трансформируемую конструкцию. ЛА выполнен по нормальной аэродинамической схеме с трапецевидным крылом и центральным расположением вертикального оперения в плоскости симметрии самолета. Модульность и трансформируемость модели необходима для проведения испытаний с различными взаимными положениями основных частей ЛА, в том числе и с имитатором силовой установки

Экспериментальные исследования были проведены в аэродинамической трубе АДТ-102 ЦАГИ на скоростях от 10 до 50м/с. Результаты были обработаны и внесены в банк аэродинамических данных для создания математической модели движения самолета и верификации с расчетными исследованиями.

Микеладзе В.Г., Головкин М.А. Руководство для конструкторов по проектированию самолетов // Том 1, Книга 10, Выпуск 1, 1993, с.1-16.

**Экспериментальные исследования влияния вихрегенераторов на передней кромке и различных законцовок на аэродинамические характеристики крыла конечного размаха в АДТ Т-1 МАИ**

Волобуев Р.А., Галкин М.Ю., Сергеева Н.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Управляя отрывом потока воздуха, возможно добиться улучшения аэродинамических характеристик крыла. Средства управления отрывом при этом бывают двух видов: активные и пассивные. Вихрегенераторы (далее – ВГ) относятся ко второй группе. Принцип работы ВГ заключается в создании устойчивой вихревой структуры путём подвода энергии в пограничный слой.

Существуют разные типы ВГ, но в данной работе рассмотрены классические (установлены на верхней поверхности крыла недалеко от передней кромки) и, относительно новые, носовые (интегрированы непосредственно в носовую часть профиля крыла, патент РФ №2749524 от 28.02.20). В сравнении на отсеке крыла с профилем GA(W)-1 были отмечены

преимущества носовых ВГ, такие как меньший прирост лобового сопротивления и меньшее влияние на момент тангажа при улучшении несущих характеристик. Также испытания приведены на крыле конечного размаха.

Скорость потока – 48 м/с, углы атаки – до 30°. С помощью средств визуализации потока, а именно масляных точек и жидкокристаллических термотропных плёнок, были получены и проанализированы картины обтекания крыла с ВГ и без них. В частности, на профиле GA(W)-1 имеет место ламинарный отрыв с присоединением, который под действием ВГ пропадает, что явно отражается на АДХ. Особое внимание уделено развитию отрывной области.

Одна из составляющих лобового сопротивления несущей поверхности является индуктивное сопротивление, обоснованное вихрями, сходящими с законцовок крыла. Используя различную геометрию законцовок возможно добиться уменьшения вихреобразования. В данной работе были испытаны следующие их виды: стандартные, с одним стоком, с тремя стоками и с запирающим стоком. Оценена эффективность каждого из типов. Используемая модель – крыло конечного размаха с профилем GA(W)-1.

Литература:

1. Аэрогидродинамическая поверхность, группа вихрегенераторов и способ установки группы вихрегенераторов (вихрегенераторы на передней кромке): патент РФ №2749524 от 28.02.20.

2. Множественный гистерезис статических аэродинамических характеристик / С.В. Кабин [и др.]. Учёные записки ЦАГИ. 1999. Том XXX. №3-4. С. 61-67.

3. Волобуев Р.А., Галкин М.Ю., Мельников С.В. Экспериментальные исследования пассивного метода затягивания срыва потока на отсеке крыла в АДТ Т-1 МАИ // Материалы XXXIII научно-технической конференции по аэродинамике. Тезисы. Жуковский, 2022. С.44.

### **Моделирование системы самолет-летчик для обеспечения безопасности выполнения задач траекторного управления**

Воронка Т.В., Тяглик М.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В истории развития авиации важным этапом является внедрение средств автоматизации полета, поскольку от этого напрямую зависит безопасность выполнения полетного задания. Предполагалось, что переход к автоматизированному полету приведет к сокращению авиационных происшествий. Однако бурное развитие средств автоматизации контура ручного управления позволило существенно снизить количество летных происшествий, возникающих вследствие ошибок экипажа, о чем свидетельствует статистика авиационных происшествий [1]. Это связано с тем, что процесс пилотирования хоть и упрощается за счет автоматизированных систем, но в то же время летчик утрачивает практические навыки самостоятельного решения задач, что чревато тяжелыми последствиями при возникновении аварийных или нестандартных ситуаций.

При создании средств автоматизации традиционно используются частотные методы оптимизации систем, математическое моделирование, при этом в качестве математической модели, рассматриваемой в процессе моделирования или оптимизации, рассматривается система "самолет с системой управления".

Для достижения максимального результата требуется понимание процессов и закономерностей взаимодействия летчика и самолета, знание методов исследования этой системы, создание на их базе технологии решения прикладных задач проектирования и испытания высокоавтоматизированных самолетов. Из написанного ранее можем сделать вывод, что необходимо рассматривать замкнутую систему, где не менее важным элементом является летчик.

В этой связи разработка комплексной технологии проектирования высокоавтоматизированных систем управления, базирующейся на методах исследования системы самолет – летчик и позволяющей получать качественные улучшения точностных характеристик применения авиационной техники и повышения уровня ее безопасной эксплуатации, является безусловно актуальной.

Важность моделирования летчика при проектировании систем показано в работах как отечественных, так и зарубежных научных коллективов [2-3]. Стоит отметить, что все исследования, проведенные в этих работах, описывали систему самолет-летчик для одноканальной, одноконтурной системы. Для такой системы были получены закономерности и математические модели характеристик управляющих действий летчика. В реальных задачах пилотирования летчик управляет в нескольких каналах и в нескольких контурах. Таким образом, работа по созданию модели характеристик действий летчика для двухканальной системы является актуальной.

Предварительно было показано различие как в действиях летчика, так и в точностных характеристиках выполнения задач пилотирования, когда параметры технической части были выбраны, исходя из рассмотрения одноканальной системы, а летчик производил пилотирование в двухканальной системе.

Новизна работы заключается в том, чтобы выявить закономерности поведения летчика в многоканальной системе и разработать на их основе модели характеристик действий летчика адекватных результатам экспериментальных исследований.

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).

Литература:

1. Safety Report, 2018, IATA
2. Ефремов А.В., Система самолет- летчик. Закономерности и математические модели поведения лётчика. – М.: Изд-во МАИ, 2017. – 196с.
3. Hess.R. Structural model of the adaptive human pilot. J.of Guidance and Control,Vol 3,№5,1979.P.416-423

### **Структурная схема полетного контроллера с комплексированием навигационной информации**

Ворох Д.А., Овакимян Д.Н., Кириллов В.С., Афутина Д.С.

Самарский университет, г. Самара, Россия

Наличие и устойчивый прием сигналов навигационной системы (СНС) GPS/Глонасс, как правило, является обязательным условием успешного выполнения задачи беспилотным летательным аппаратом (БПЛА). Выход из строя бортовых устройств приема сигналов СНС, намеренное подавление сигналов СНС, иные технические сбои приводят в большинстве случаев к авиационным происшествиям. В связи с этим, разработка интеллектуального полетного контроллера (ИПК) с комплексированием навигационной информации представляет собой важную и актуальную научно-техническую задачу.

Структурными элементами интеллектуального полетного контроллера с комплексированием навигационной информации являются:

- датчики инерциальной навигационной системы и приборы, размещаемые на борту беспилотного летательного аппарата;
- интерфейс датчиков и приборов;
- модуль обработки видеоданных;
- модуль управления;
- интерфейс управления;
- интерфейс устройств управления движением;
- интерфейс телеметрии.

К датчикам инерциальной навигационной системы относятся гироскоп, акселерометр, магнитный компас, выполненные по МЭМС-технологии. Для определения высоты полета используются барометр и ультразвуковой высотомер. Необходимость использования как высотомера, так и барометра определяется высокой погрешностью барометра при определении высоты в области низких значений. Интерфейс датчиков и приборов связывает первичные преобразователи информации с шиной модуля управления. В следствии больших объемов видеоданных в структурную схему введен специальный модуль обработки видеоданных. Данное решение позволяет разгрузить модуль управления, освободить его от

задач, связанных с обработкой видеоинформации. Интерфейс телеметрии предназначен для подключения приемника сигналов управления от пульта внешнего пилота (оператора) беспилотного воздушного судна (БВС). Интерфейс устройств управления движением связывает модуль управления с двигателями БВС, частота вращения которых определяет скорость и направление полета. Устройство содержит также интерфейс настройки, позволяющий подключать ноутбук, смартфон или другое устройство с помощью стандартных интерфейсов – USB, WiFi, Bluetooth. Принцип работы интеллектуального полетного контроллера заключается в получении информации от систем спутниковой связи, систем технического зрения, инерциальной навигационной системы и формировании управляющих сигналов после комплексирования полученных данных.

### **Разработка математической модели вынужденных аэроупругих колебаний вращающейся лопасти несущего винта вертолета при нестационарных воздействиях**

Гонц Д.А., Русских С.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается математическая модель аэроупругих колебаний вращающейся лопасти несущего винта. Лопасть принята тонкостенной балкой, поперечное сечение которой представляет собой однозамкнутый контур лонжерона с анизотропной обшивкой, подкрепленной продольными элементами.

Уравнения колебаний вращающейся гибкой лопасти выведены на основе метода конечных элементов (МКЭ) с использованием уравнений Лагранжа в выбранных обобщенных координатах.

При колебаниях лопасти в ее поперечных сечениях возникают такие внутренние силовые факторы как: растягивающая сила, приложенная в начале координат; изгибающие моменты; сдвигающие (перерезывающие) силы, приложенные в центре сдвига (изгиба) поперечного сечения; крутящий момент относительно оси, проходящей через центр сдвига. Всем этим силам и моментам соответствуют перемещения, углы поворота и углы закручивания поперечного сечения, которые принимаются в качестве обобщенных координат во всех узловых поперечных сечениях. Допуская, что длины конечных элементов являются достаточно малыми, геометрические, инерционные и жесткостные характеристики в пределах этих длин можно осреднять и считать постоянными.

Напряженно-деформированное состояния (НДС) конечно-элементной модели лопасти определяется с использованием безмоментной теории оболочек и гипотезы плоского распределения в поперечном сечении относительных продольных деформаций.

Для того, чтобы составить матрицы аэродинамических сил, действующих на лопасть, используется теория нестационарного плоского обтекания поперечных сечений (профилей) тонкой лопасти несжимаемым потоком без учета влияния вихревого следа от других лопастей несущего винта. Погонные аэродинамическая сила и крутящий момент записываются на основании известного точного решения Теодорсена.

Литература:

1. Гришанина Т.В., Тютюнников Н.П., Шклярчук Ф.Н. Метод отсеков в расчетах колебаний конструкций летательных аппаратов. – М.: Изд-во МАИ, 2010. – 180 с.
2. Бисплингхофф Р.Л., Эшли Х., Халфмен Р.Л. Аэроупругость. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1958. – 799 с.
3. Шклярчук Ф.Н. Аэроупругость самолета. – М.: Изд-во МАИ, 1985. – 77 с.

### **Контроль технического состояния агрегатов функциональных систем воздушных судов на основе цифровых двойников**

Гостев А.В., Фисенко Д.И.

МАИ, г. Москва, Россия

При создании современной системы технического обслуживания (ТО) самолетов нового поколения необходима ориентация на широкое применение стратегий ТО по состоянию с широким применением бортовых интегральных систем диагностирования.

С учетом влияния на безопасность полетов агрегаты могут эксплуатироваться до отказа или до предотказного состояния. Исходя из этого, задача прогнозирования состояния агрегата является актуальной.

Предиктивное обслуживание функциональных систем ВС в совокупности с применением цифровых двойников позволят определять техническое состояние объекта в данный момент, и предвидеть его будущее состояние [1, 2].

В работе рассматривается процесс определения предотказного состояния некоторых агрегатов ВС (запорный воздушный клапан (ЗВК), клапан регулирования температуры (КРТ) с использованием методов цифрового двойника.

Решались следующие задачи:

- анализ конструкции и принципов работы агрегатов бортовых систем самолета;
- анализ отчетов о ремонте отказавших агрегатов;
- формирование перечня параметров агрегатов для отслеживания динамики изменений;
- анализ динамики изменений параметров агрегатов на основе данных от средств объективного контроля;
- формирование перечня исходных данных и требований для разработки математических моделей агрегатов на основе полученных данных;
- разработка математических моделей агрегатов с использованием методов цифрового двойника в соответствии со сформированным перечнем параметров;
- анализ результатов моделирования агрегатов на различных режимах работы, в том числе с учетом отказных ситуаций.

Ключевыми параметрами для отслеживания динамики изменения в функционировании ЗВК и КРТ, являются:

- ток в обмотках электродвигателя клапана;
- динамические характеристики клапана;
- давление воздуха в системе кондиционирования воздуха (СКВ);
- расход воздуха в турбохолодильной установке;
- температура воздуха за турбохолодильной установкой.

Выбранные параметры, позволяют разработать математические модели клапанов со сравнительно высокой степенью адекватности. На основании функциональных схем клапанов и данных из руководства по техническому обслуживанию были созданы цифровые модели в среде Simcenter Amesim. Также в работе представлены подходы к разработке общей событийной модели в программной среде Matlab Simulink.

Таким образом, предиктивное обслуживание с использованием цифровых двойников требует значительных затрат, но данная технология позволяет своевременно определять предотказное состояние агрегатов снижая простои ВС и, как следствие, снижая затраты на техническое обслуживание [3].

Литература:

1. Цифровые технологии в жизненном цикле российской конкурентоспособной авиационной техники / А.Г. Братухин, С.А. Серебрянский, Д.Ю. Стрелец [и др.]. – Москва: 2020. – 448 с. – ISBN 978-5-4316-0694-6.
2. Strelets, D. Y. Concept of Creation of a Digital Twin in the Uniform Information Environment of Product Life Cycle / D. Y. Strelets, S. A. Serebryansky, M. V. Shkurin // Moscow, 2020. – P. 9247749. – DOI 10.1109/MLSD49919.2020.9247749. – EDN RZMMXZ.
3. Гостев А.В. Предиктивный анализ возможности регулярной эксплуатации сверхзвуковых пассажирских самолетов / А.В. Гостев, А.С. Кузнецов, Р.М. Сафин // Скоростной транспорт будущего: перспективы, проблемы, решения: тезисы 1-ой Международной научно-технической конференции – Москва: Издательство "Перо", 2022. – С. 148-150. – EDN ITGJZM.

## **Оптимальная модель управляющих действий летчика как подход к синтезу системы управления сверхзвукового пассажирского самолета**

Гришина А.Ю., Ефремов А.В., Иргалеев И.Х.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящей работе предложена модификация оптимальной модели управляющих действий летчика (ОМЛ) [1], в основе которой лежит предположение о том, что хорошо тренированный и заинтересованный оператор решает поставленную перед ним задачу управления способом, близким к оптимальному с учетом свойственных человеку психофизиологических ограничений. Основной идеей модификации ОМЛ является перемещение звена запаздывания из модели летчика на выход системы (к входному сигналу) и одновременное удаление предказателя-контроллера из структуры модели. Показано, что в таком случае результаты математического моделирования имеют лучшее совпадение с результатами эксперимента по сравнению с базовым вариантом модели [2].

С использованием модифицированного подхода ОМЛ в ходе настоящей были проведены исследования для нескольких вариантов реализации системы управления сверхзвукового пассажирского самолета второго поколения (СПС). В работе рассмотрен классический вариант синтеза СУ, основанный на использовании обратных связей и вариант с использованием регулятора, реализованного на принципе обратной динамики. Кроме того, были выполнены исследования по влиянию параметров входного сигнала.

Результаты экспериментальных исследований и математического моделирования показали, что использование в системе управления СПС регулятора, основанного на принципе «обратной динамики», позволяет улучшить точность пилотирования на этапе посадки СПС в несколько раз, в отличие от традиционного – с использованием обратных связей.

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)

Литература:

1. Ефремов А.В. «Система самолет-летчик. Закономерности и математические модели поведения летчика», Москва, МАИ, 194 стр., 2017 г.
2. Kleinman D.L., Baron S., Levison W.H. An optimal control model of human response. *Automatica*, vol. 6, 1970, pp.357-369.
3. David K. Schmidt. Optimal Flight Control Synthesis via Pilot Modeling. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 2, issue 4, pp. 308-312

## **Анализ влияния оснастки для автоматизированной сборки на прогиб края панели**

Давыдов П.К.

МАИ, г. Москва, Россия

Для рационального определения применения методов сборки летательных аппаратов требуется определить ключевые показатели. Так, одни из показателей являются: точность сборки, масса оснастки, трудоёмкость сборочных процессов и др. Одним из этапов определения показателей для автоматизированной сборки является геометрическое определение точек крепления оснастки (индексных точек) для бортовой панели и их влияние на точность сборки и возможность последующего выполнения соединений.

Для автоматизированной сборки требуется промежуточная оснастка в виде рамы с точками крепления. Служит для предотвращения деформации или искривления деталей при позиционировании.

В случае расположения креплений к самому краю, увеличивается масса и размеры оснастки. Также оснастка может затруднить установку и манипулирование в процессе сборки.

Однако, во время позиционирования неподкреплённый край обшивки подвергается изгибу под действием силы тяжести и как следствие перемещение края панели. Для дальнейшего определения влияния на точность сборочных процессов необходимо определить рациональное расположение точек фиксации.

В первом варианте рассматривалась панель центральной части фюзеляжа вертолета типовой конструкции – алюминиевая обшивка одинарной кривизны габаритами 5500x1920 мм, толщиной листа в 1,2 мм.

Для габаритов данного листа было принято решение использовать 6 точек с отступлением от каждого края листа в 100 мм, далее эквидистантно с шагом в 100 мм. Данное расстояние принято в связи с ограничением по закрепочным работам.

При моделировании не учитывалась конструкция самой рамы, так как, при необходимости, раме можно дополнительно придать жесткость путем изменения конструкции. Грузоподъемность современных промышленных роботов позволяет, например при грузоподъемности в 1000 кг и массы панели в 35 кг – остаётся существенный запас.

Во время сборочных процессов необходимо учитывать угол наклона рамы с панелью при позиционировании. Были взяты основные положения от нижнего горизонтального расположения до верхнего, с шагом в 45°.

В расчёте модели принималась жесткая заделка в точках крепления и учитывалась сила притяжения.

Во втором варианте панель подкреплена стрингерами и шпангоутами с шагом в 150 мм и 500 мм соответственно.

Результаты моделирования неподкрепленной обшивки: ожидаемо минимальными перемещения 2,13 мм оказались в случае с отступом в 100 мм от краев и при угле наклона в 0°. Максимальные перемещения при угле наклона в 0° составили 91,09 мм – в случае с отступом точек крепления от длинного края на 800 мм.

Результаты моделирования подкрепленной обшивки: значения перемещений гораздо снизились, с 274,36 мм до 2,144 мм. Однако результаты перестали быть линейными.

Искажения объясняются тем, что во втором случае место стыковки оснастки совпало с место подкрепления панели.

- При позиционировании неподкрепленной панели, даже при удалении точек креплений в 100 мм от края требуется дополнительные прижимные устройства.

- Подкрепленная панель гораздо проще позиционируется, в связи с меньшими отклонениями краёв.

- Требованию к месту крепления технологической оснастки в наиболее жёстких местах панели превагирует над расстоянием креплений от края панели.

1. Официальный сайт ДЦ "Кука Россия" [Электронный ресурс] – URL: <http://kuka-russia.ru/kuka-russia/promyshlennye-roboty-kuka-gruzopodemnyy-robot-kr-1000-titan>

2. Журнал [link.springer.com](http://link.springer.com) [Электронный ресурс] – URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-7423-5\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-7423-5_5)

### **Программа для поиска оптимального расположения стоек лонжерона и оценки их общей массы**

Данилевский А.А., Гостев А.В.  
МАИ, г. Москва, Россия

Цифровые технологии в авиастроении позволяют создавать воздушные суда для коммерческого внутреннего и мирового рынка, а также современные самолеты новых поколений, в которых используются все достижения в области высоких технологий [1].

В данной работе показана программа, которая позволяет исследовать оптимальное расположение стоек лонжерона и оценивать массу полученной конструкции.

Программа перебирает значения толщин стенки лонжерона и высчитывает оптимальное количество контуров для этой толщины, добиваясь, чтобы запас прочности каждого контура не был ниже определенного значения. Находит размеры перегородок так, чтобы запас прочности каждой, был не ниже заданного значения. Обеспечивая при этом требуемую эксплуатационную живучесть и технологичность конструкции [2, 3]. Определяется суммарная масса конструкции.

Необходимые исходные данные:

- 1) начальная высота лонжерона – Н;
- 2) доля – с, до которой сужается высота лонжерона;

- 3) длина лонжерона –  $X$ ;
  - 4) модуль упругости материала стенки –  $E$ ;
  - 5) значения эпюры перерезывающей силы  $Q$  по длине лонжерона (одномерная матрица).
  - 6) касательная разрушающая нагрузка материала стенки –  $\tau$ .
  - 7) плотность материала стенки –  $\rho$ .
  - 8) максимальное число контуров  $n$  образованных стенками, до которого идет перебор.
  - 9) предельное значение коэффициента запаса прочности –  $\eta$ , ниже которого программа не будет опускаться.
  - 10) начальную и конечную толщину стенки  $d_n$  и  $d_k$ .
- Алгоритм работы.

Задаются начальные значения длины контура  $X_k$  равные половине длины лонжерона. Затем программа рассчитывает значение критических напряжений и действующих напряжений в контуре и находит значение запаса прочности контура. Если это значение ниже предельного, программа увеличивает размер контура, прибавляя к нему фиксированную величину, до тех пор, пока запас прочности не станет превышать предельное значение. Затем программа последовательно уменьшает длину контура, пока запас прочности не станет ниже предельного значения или равным ему. В этом месте программа «ставит стойку». Алгоритм повторяется с условием, что начальное значение контура будет задаваться как длина предыдущего контура плюс некоторая фиксированная величина.

После того, как программа получит расположение стоек для каждого контура, она подберет для каждой стойки геометрические размеры, при которых не будет терять устойчивость, а значение коэффициента запаса прочности не будет ниже предельного значения. Определяется общая масса стоек со стенками.

Программа предоставляет пользователю информацию о массе каждого варианта толщины стенки, о шагах каждого контура, о геометрических размерах стоек и запасах прочности контуров и стоек.

Литература:

1. Цифровые технологии в жизненном цикле российской конкурентоспособной авиационной техники / А.Г. Братухин, С.А. Серебрянский, Д.Ю. Стрелец [и др.]. – Москва: МАИ 2020. – 448 с. – ISBN 978-5-4316-0694-6.

3. 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.

3. Ресулкулыева Г.Г. Весовая модель конструкции агрегатов планера самолета на основе регрессионного анализа / Г.Г. Ресулкулыева, М.В. Майсак, С.А. Серебрянский //: Сборник тезисов докладов – Москва: ИД Академии имени Н.Е. Жуковского, 2023. – С. 130-132. – EDN ZLSOGB.

### **Исследование возможности снижения массы гидросистемы за счет применения принципа форсирования давления при отказах**

Дёмин Н.А., Пугачёв Ю.Н., Долгушев В.Г., Кошкин А.Н.  
МАИ, г. Москва, Россия

форсирования давления снижает установочную мощность системы от 1,3 до 2-х раз. Также применение принципа форсирования давления без упрочнения агрегатов системы, для компенсации последствий работы системы на форсированных режимах, позволяет добиться выигрыша вплоть до 45% от массы аналогичной традиционной системы.

Применение принципа форсирования давления с упрочнением агрегатов, позволяет достичь снижения массы от 8 до 22,5% по сравнению с традиционной системой, в которой для компенсации последствий отказов применяется избыточность по усилию приводов системы управления.

В ходе исследования было выявлено, что полная компенсация последствий работы системы на форсированных режимах – может оказаться избыточным решением, в то время как снижение общего коэффициента запаса, можно обосновать соображениями снижения

массы. При этом подразумевается, что большую часть времени система работает в штатном режиме, для которого удовлетворены все требования прочности, ресурсности и надежности, следовательно, введение дополнительного упрочнения только повысит эти показатели и кратковременная работа системы на форсированных режимах не приведет к преждевременному отказу работоспособных элементов системы.

1. Моделирование энергосистем силового привода самолетов А.А. Волков, В.Г. Долгушев, А.М. Матвеевко, В.И. Петровичев, Ю.Н. Пугачев. 2017 г. Москва, издательство «МАИ».

2. Тенденции развития современных авиационных бортовых гидросистем. Долгушев В.Г., Ионов В.А., Кун Н.В., Матвеевко А.М. Труды МАИ, выпуск № 95.

3. Проектирование гидравлических систем летательных аппаратов А.М. Матвеевко, И.И. Зверев. Москва, «Машиностроение» 1982 г.

4. «Технические системы с форсированными режимами работы и адаптивными структурами». Матвеевко А.М., Локшин М.А. Вестник МАИ 2005. Т. 12. № 2

5. УДК 629.7.064.3 ОСТ 1 00095-73, Гидросистемы силовые летательных аппаратов. Давления.

6. Акопов М.Г., Евсеев А.С., Матвеевко А.М. Системы оборудования летательных аппаратов. 3-е изд., испр. И доп. Москва, Машиностроение, 2005 г.

7. Константинов С.В., Редько П.Г., Ермаков С.А. Электрогидравлические рулевые приводы. – Москва, Янус – К, 2006 г.

8. Матвеевко А.М. Методы проектирования энергосистем силового привода летательных аппаратов. Москва, МАИ «ПРИНТ», 2010 г.

9. Клёмина Л.Г. Жидкостно-газовые системы транспортных воздушных судов, часть 1. МГТУГА, Москва, 2007 г.

10. Михеев А.В., Фомин А.В, Су-34, POLYGON, 1995 г.

11. Гидросистемы силового привода пассажирских и транспортных самолетов А.А. Волков, В.Г. Долгушев, А.М. Матвеевко, Ю. Н. Пугачев. 2019 г. Москва, издательство «МАИ».

12. Элементы гидропривода издание 2-е переработанное и дополненное. Е.И. Абрамов, К.А. Колесниченко, В.Т. Маслов, Киев, издательство «Техника», 1977 г.

13. «Расчет и испытания гидравлических систем ЛА» Матвеевко А.М., Пейко Я.Н., Комаров А.А., Москва, Машиностроение 1974 г.

14. Башта Т.М, Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем, Москва, Машиностроение 1974 г.

15. Труды ВИАМ №2 2013 г. «Фундаментальные и прикладные работы по конструкционным титановым сплавам и перспективные направления их развития.»

### **Расчёт аэродинамических нагрузок, действующих на поверхности летательных аппаратов, с применением вихревых методов**

Денисов М.А., Майорова В.И.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Современные тенденции проектирования сложных технических систем и летательных аппаратов часто подразумевают тесное взаимодействие нескольких команд и активное внедрение методик бережливого производства. В условиях подобного взаимодействия часто возникают ситуации, в которых необходимо получить предварительную оценку характеристик системы.

Одними из наиболее времязатратных (по времени и по ресурсам) часто являются расчёты, относящиеся к области вычислительной гидро- и аэродинамики. В реальных условиях часто возникает необходимость сокращения времени подготовки и проведения расчётов и возможности реализации некоторых производных расчётов, опирающихся на исследование аэродинамики летательного аппарата: напряжённо-деформированного состояния тел, содержащих аэродинамические поверхности, задач аэроупругости, флаттера, и теплового состояния. Полноразмерные исследования задач сеточными методами, хотя и производят наиболее точные результаты, часто не позволяют получить какие-либо заключения на

начальных этапах проектирования и поиска возможных решений, а большие затраты машинного времени снижают его продуктивность.

Одним из выходов из подобной ситуации может стать формирование математической модели и программного обеспечения, построенных на менее требовательных к расчетной области бессеточных методах, в частности, вихревых методах, с последующей верификацией и валидацией полученных результатов [1, 2].

В докладе показаны результаты написания программного обеспечения, производящего расчеты обтекания профилей потоком на основе панельных методов для двух- и трехмерного случаев. Произведена верификация двухмерных и трёхмерных методов с данными, полученными в других программных комплексах различными методами (X-FOIL [3], Ansys Fluent). Для двухмерного случая дополнительно произведена валидация с экспериментальными данными.

Для трехмерного случая показаны основные этапы расчетной схемы, указаны основные проблемы и недостатки, имеющиеся в программе на данный момент, границы применимости и допущения, используемые при расчете. Рассматриваются методы описания тел в трёхмерной постановке и различия между ними. Проводится оценка устойчивости расчётной модели.

Вихревые методы на данный момент недостаточно хорошо встроены в рабочий процесс и требуют дополнительной модификации для решения актуальных задач. Тем не менее, использование вихревых методов для оценки аэробаллистических и прочностных характеристик летательных аппаратов может существенно сократить время расчетов при моделировании обтекания тел в сравнении с сеточными методами, широко применяемыми сегодня, и привести к дополнительному снижению затрат за счёт возможности своевременной выдачи исходных данных.

Литература:

1. Schweigler K.M. “Aerodynamic Analysis of the NREL 5-MW Wind Turbine using Vortex Panel Method.” (2012). // URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Aerodynamic-Analysis-of-the-NREL-5-MW-Wind-Turbine-Schweigler/698710bc65ab3ecaee30ce97f4c20e878e037ea2> (дата обращения: 14.10.2023)

2. В.В. Овчинников, Ю.В. Петров, Методика расчета характеристик аэродинамического нагружения двухоболочковых планирующих парашютов // Научный вестник МГТУ ГА. 2018. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-rascheta-harakteristik-aerodinamicheskogo-nagruzheniya-dvuhobolochkovykh-planiruyuschih-parashyutov> (дата обращения: 21.11.2022)

3. XFOIL – Subsonic Airfoil Development System // URL: <http://web.mit.edu/drela/Public/web/xfoil/> (дата обращения 14.10.2023)

### **Опыт и перспективные направления исследований Самарского университета в области беспилотных авиационных систем**

Ерисов Я.А., Овакмян Д.Н., Орлов М.Ю.

Самарский университет, г. Самара, Россия

Самарский университет им. Королева за последние десять лет накопил значительный опыт в области разработки, проектирования и производства беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

На базе Центра беспилотных систем под руководством Д.Н. Овакмяна был разработан ряд аппаратов различного класса и назначения:

- переносной комплекс воздушного наблюдения «Бумеранг», предназначенный для проведения аэрофотосъемки подстилающей поверхности с разрешением от 5 см/пиксель;
- беспилотный авиационный комплекс (БАС) «Фотон», предназначенный для проведения экологического мониторинга, мониторинга добычи природных ресурсов, магистральных нефте- и газопроводов, обследования гидросооружений;
- аэромобильный комплекс для экологического мониторинга атмосферного воздуха в автоматическом режиме на высотах до 1000 м, в состав которого входит портативный микрогазохроматограф, программное обеспечение для оперативного анализа данных и

выдачи результатов анализа в режиме реального времени на удаленный операторский пункт сбора информации;

- беспилотный авиационный комплекс мультироторного типа «Индиго», для отработки технологий БАС, например, технологии автоматизированной зарядки, ретрансляции сигнала протокола WiFi, «привязного» варианта БПЛА.

Также ведутся работы в направлении подготовки внешних пилотов БАС – разработан и изготовлен учебно-тренировочный программно-аппаратный комплекс, предназначенный для оснащения образовательных классов, летных полигонов, организаций СПО, ВУЗов и иных учебных заведений. Комплекс обеспечивает: освоение базовых навыков пилотирования; изучение основных этапов, методов и правил составления полётной программы; составление оптимальных маршрутных карт для полётов в режиме автоматического управления; дистанционное тестирование обучающихся.

На кафедре теплотехники и тепловых двигателей под руководством доцента, к.т.н. М.Ю. Орлова разработан проект авиационного двухтактного поршневого двигателя мощностью до 5 л.с. для БПЛА. Двигатель рассматривается как базовый для семейства двигателей с различной компоновкой цилиндров в диапазоне изменения мощности от 2 до 50 л.с., с карбюраторной и инжекторной системами питания. Двигатели – двухтактные, при их проектировании особое внимание уделено повышению надёжности и ресурса. В некоторых случаях карбюраторная система питания на двигателе БПЛА предпочтительнее системы впрыска топлива, так как более устойчива к внешним электромагнитным воздействиям. Стальная гильза в сочетании с алюминиевым блоком обеспечивает экономию массы, ремонтпригодность и упрощает технологии изготовления ключевых комплектующих, определяющих базовые характеристики двигателя. При разработке двигателей использован опыт создания двигателей П-020 и П-032.

С целью объединения компетенций различных подразделений университета и обеспечения полного цикла создания БАС в структуре Передовой инженерной аэрокосмической школы Самарского университета создана и оснащена современным высокотехнологичным производственным оборудованием, высокопроизводительными вычислительными системами и специализированным программным обеспечением Цифровая фабрика систем региональной авиации и БПЛА, на базе которой реализуется ряд проектов, направленных на развитие указанных выше направлений и разработок, а также новых проектов, в частности, создание многоцелевого БПЛА среднего класса, атмосферного псевдоспутника, отечественной компонентной базы.

### **Сглаживание аэродинамического профиля при заданных ограничениях как задача условной оптимизации**

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

Поверхности крыла и оперения, как правило, задаются с помощью каркаса из двух семейств кривых. Поперечными кривыми служат таблично заданные аэродинамические профили. Продольные кривые соединяют точки профилей, расположенные на одинаковых долях длин хорд. При разработке поверхности выполняется множество итераций изменения геометрических характеристик профилей в поперечных сечениях. При этом возможны искажения их обводов, для устранения которых требуется сглаживание.

В работе рассматривается задача обеспечения плавного изменения кривизны сглаживаемого аэродинамического профиля при соблюдении ограничений на сохранение выпуклости обвода и на предельную погрешность интерполяции. Сглаживание обвода представлено как задача минимизации. В качестве целевой использована квадратичная функция многих переменных, которыми являются взятые в узлах обвода значения вторых производных интерполирующей его функции.

Значения вторых производных в точках обвода вычисляются как значения вторых производных квадратной параболы, проходящей через данную и две соседних с ней точки.

Для целевой функции установлено две группы ограничений. Первая группа обеспечивает сохранение выпуклости кривой и представляет собой систему неравенств, задающих

неположительность второй производной в каждой точке сглаживаемого участка обвода. Вторая группа ограничивает отклонение от координат исходного обвода в данных точках заданной величиной.

Для нахождения минимума целевой функции применен метод барьерных функций, по которому на основе целевой функции и ограничений составлена вспомогательная функция. Для поиска минимума вспомогательной функции применен метод градиентного спуска.

Разработаны алгоритм и компьютерная программа, с помощью которых проведено сглаживание рассматриваемого аэродинамического профиля. В ходе исследований выявлена зависимость плавности графика кривизны обвода от плавности графика весовых коэффициентов целевой функции. Опытным путем подобраны оптимальные значения весовых коэффициентов.

Сглаживание позволило получить достаточно плавный график кривизны профиля, однако при переходе от сглаженного участка к несглаженному появляется перепад кривизны. Проведенное моделирование обтекания для крейсерского транзвукового режима полета показало улучшение аэродинамических характеристик профиля после сглаживания.

Таким образом, результаты проведенного исследования подтверждают эффективность разработанной методики сглаживания для задач обеспечения плавности изменения кривизны. Кроме того, выявлена возможность управления формой кривой посредством весовых коэффициентов целевой функции.

Однако методика требует некоторых доработок. Во-первых, требуется не допустить появления перепада кривизны между сглаженным и несглаженным участками. Наиболее перспективным для этого представляется использование ограничений, фиксирующих значение ординаты и второй производной на границе участков. Во-вторых, для практического использования требуется автоматизировать подбор весовых коэффициентов для получения наиболее плавного графика кривизны.

Литература:

1. Конструктивная геометрия. / Э.В. Егоров, Л.Г. Нартова. М.: Изд-во МАИ, 2012.
2. Методы оптимизации в примерах и задачах: Учеб. пособие / А.В. Пантелеев, Т.А. Летова. – М.: Высш. шк., 2005.
3. Ерохин А.П., Денискин Ю.И. Сглаживание аэродинамического профиля с использованием безусловной оптимизации для обеспечения качества поверхностей крыла и оперения самолета // Известия ТулГУ. Технические науки. 2023. Вып. 8. С. 41–52.

## **К вопросу об уровне перегрузок изделий РКТ при транспортировании**

Загидуллин Р.С., Матвеев В.А.

Самарский университет, г. Самара, Россия

При разработке эксплуатационной документации перед разработчиками технологии транспортировки изделий ракетно-космической техники в эксплуатирующую организацию стоит задача определения в инструкциях требований, выполнение которых должно обеспечивать не превышение значений перегрузок, принятых на проектной стадии [1]. Учитывая отсутствие полноценных методик и рекомендаций по определению режимов автотранспортирования, разработчики инструкций по принципу максимальной риск-ориентированности для не превышения значений перегрузок, как правило, ограничивают скорость движения. При этом увеличение времени нахождения изделий в условиях транспортировки (неблагоприятных условиях окружающей среды) может снижать качество доставки.

Таким образом, существует проблема определения оптимального скоростного режима автомобильной транспортировки изделий РКТ, с одной стороны обеспечивающего оперативность доставки и минимальное время нахождения изделия в неблагоприятных условиях внешней среды, с другой стороны – не превышение принятых при проектировании уровней динамических перегрузок [2].

Возникает необходимость разработки модели с методиками, подробно описывающими все факторы перегрузок перевозимого автотранспортом изделия, которая позволит создать основу для логического и последовательного подхода к проблеме прогнозирования и

задания адекватного уровня возможных динамических воздействий на изделия от автотранспортировок для этапа проектирования изделия, а также решить проблему определения оптимальных режимов автотранспортировок на этапе эксплуатации.

В настоящее время учеными Самарского университета ведутся экспериментальные исследования по определению методики определения оптимальных режимов автотранспортировок на примере имитатора бака ракеты-носителя.

Литература:

1. Загидуллин Р.С. Анализ и повышение качества технологии автомобильной транспортировки изделий ракетно-космической техники // Исследования и перспективные разработки в машиностроении: материалы VII науч.-практ. конференции молодых ученых и специалистов, Комсомольск-на-Амуре, 22-23 сентября 2022 г. / отв. ред. Р.А. Физулаков. Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2023. С. 33-42.

2. Матвеев В.А., Малышев В.Ю., Сократов С.И., Калугин П.А. Современные подходы к транспортировке изделий ракетно-космической техники при наземной эксплуатации // Молодежь. Техника. Космос: труды десятой общероссийской молодежной научно-технической конференции, Сер. «Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ» №49 Т. 1. 2018. С. 250-255.

### **Влияние многомерной турбулентности на повторяемость нагрузок на агрегаты летательного аппарата**

Зайцев Д.Д., Сарайкина А.А.

ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Цель данного исследования заключается в анализе воздействия разнонаправленных турбулентных потоков на повреждаемость компонентов пассажирского воздушного судна. Для достижения данной цели были исследованы два различных сценария воздействия: вертикальная одномерная турбулентность и многомерная турбулентность.

В рамках этого исследования были выполнены вычисления, направленные на оценку воздействия многомерных порывов на крыло, двигатель и горизонтальное оперение. Наибольшие отличия были замечены в хвостовой части ЛА.

На рисунке 1 представлено сравнение уровней повреждаемости, выраженных в процентах от общей повреждаемости, в контексте одномерной турбулентности. Рисунок 2, в свою очередь, демонстрирует диаграмму, отражающую процентный вклад повреждаемости, вызванной девятью воздушными режимами типового полета, в общую повреждаемость. Важно отметить, что на рисунке 1 наблюдается 8% превышение повреждаемости в случае многомерной турбулентности по сравнению с одномерной.

Рассматривается режим крейсерского полета, и на рисунке 3 представлен график, показывающий процентное воздействие изгибающего момента вдоль оси жесткости ГО на повреждаемость. Для удобства сравнения все значения были нормированы относительно наибольшей повреждаемости, вызванной одномерной турбулентностью. Важно отметить, что в этом режиме максимальные различия в уровне повреждаемости достигают 45%.

По интегральной повторяемости нагрузок от турбулентности за воздушные режимы полета можно найти эксплуатационные приращения нагрузок, встречающиеся раз за срок службы самолета. Так на рисунках 4 и 5 представлены интегральные повторяемости изгибающего момента в бортовом сечении ГО, отнесенного к эксплуатационной величине. Горизонтальная линия показывает обратную величину количества полетов за срок службы ЛА. Разница между экстремальными нагрузками, вызванными одномерной и многомерной турбулентностью, составляет приблизительно 12%. Это различие может иметь значительное значение при анализе степени повреждаемости конструкции, особенно если она изготовлена из композиционных материалов.

Исследование выявило, что учет многомерности турбулентности оказывает влияние на повторяемость получаемых нагрузок. Это воздействие особенно заметно при анализе воздушных судов, у которых антисимметричные моды колебаний слабо подавлены. Многомерность более точно отражает физические характеристики воздействия на

конструкцию. Поэтому рекомендуется учитывать многомерность турбулентности при проведении расчетов.

Литература:

1. Кузнецов О.А. Динамические нагрузки на самолет. – М: Физматлит, 2008

### **Использование метода аналогов для оценки акустических характеристик самолетов с распределенной силовой установкой**

Замтфорт Б.С., Беляев И.В.

ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

В последние годы стали активно исследоваться самолеты с распределенной силовой установкой (PCY), в частности компоновки, где ряд небольших винтов расположены на крыльях и приводятся во вращение от электродвигателей. Эти самолеты должны удовлетворять нормам ИКАО по шуму на местности. К настоящему времени развиты полуэмпирические и численные методы расчета шума воздушных винтов, однако их использование требует достаточно подробных данных о характеристиках винтов. Кроме того, полуэмпирические методы разрабатывались в основном для шума больших винтов, так что они могут быть неприменимы для винтов PCY. Тем не менее, на ранней стадии проектирования самолета с PCY, когда выбираются его основные параметры, необходимо оценивать возможность удовлетворения таким самолетом норм по шуму на местности. В настоящей работе разработан метод аналогов с целью предварительной оценки шума на местности самолетов с PCY.

Согласно этому методу, шум винтов PCY определяется на основе имеющейся экспериментальной базы данных по шуму, тяговым и моментным характеристикам маломасштабных винтов с разным числом лопастей и разным числом оборотов. Акустические характеристики винтов включают уровни звукового давления для суммарного, тонального и широкополосного шума в зависимости от числа Маха; диаграммы направленности и спектры шума винтов в зависимости от числа оборотов и шага.

Для заданных взлетно-посадочных характеристик самолета с PCY шум его винтов определяется на основе аналогов, т.е. имеющихся данных по шуму винтов с аналогичными параметрами или на основе экстраполяции экспериментальных данных. Эта информация позволяет оценить уровни шума самолета с PCY в нормируемых точках. При необходимости расчет может быть проведен для других параметров винтов (число лопастей, шаг винта и т. д.) с целью поиска характеристик PCY, обеспечивающих снижение шума на местности для удовлетворения самолетом норм ИКАО.

Литература:

1. ИКАО Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. Охрана окружающей среды. Том 1 Авиационный шум. Издание восьмое, 2017г.

### **Управление боковым угловым движением маневренного самолета с использованием обучения с подкреплением**

Зарубин Р.А., Тюменцев Ю.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Применительно к движению летательных аппаратов одной из актуальных задач является формирование законов управления, обладающих свойствами оптимальности и адаптивности. Один из перспективных подходов к решению таких задач основан на технологии приближенного/адаптивного динамического программирования, реализующего идею обучения с подкреплением (Reinforcement Learning, RL). Основным при этом является метод адаптивного критика (Adaptive Critic Design, ACD) [1], в котором активно используются методы нейросетевого моделирования [2]. Основная идея ACD-подхода заключается в том, что требуемый закон управления системой формируется в процессе взаимодействия ее со средой. Здесь «критик» как элемент ACD-подхода для данного момента времени оценивает эффективность текущего варианта закона управления. Этот закон управления работает в паре с RL-алгоритмом, который формирует корректировки параметров закона управления. Элементы «закон управления» и «RL-алгоритм» в совокупности составляют модуль ACD-

подхода, в терминах обучения с подкреплением именуемый как «агент». Таким образом, агент реализует текущий вариант закона управления, а также осуществляет корректировку его параметров (весов связей нейронной сети) согласно оценкам, получаемым от критика. При этом средой для агента, с которой он взаимодействует при формировании закона управления, является объект управления и его реакции на управляющие воздействия. В АСД-подходе критик, закон управления и модель объекта управления выполнены в виде многослойных нейронных сетей прямого распространения.

Рассматриваемый подход реализован применительно к задаче управления боковым движением маневренного самолета. При этом разработан вариант АСД-подхода, использующий в качестве основы модифицированный вариант аналитического конструирования оптимального регулятора (АКОР). Полученные результаты демонстрируют перспективность данного подхода к управлению движением самолета в условиях неопределенности.

Исследование выполнено 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).

Литература:

1. Kamalapurkar R., Walters P., Rosenfeld J., Dixon W. Reinforcement learning for optimal feedback control. – Springer, 2018.
2. Брусов В.С., Тюменцев Ю.В. Нейросетевое моделирование движения летательных аппаратов. – М.: Изд-во МАИ, 2016.

#### **Учебно-методическая библиотека алгоритмов для решения комплекса задач оптимального планирования полета легких БЛА**

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

Одним из актуальных способов повышения целевой эффективности беспилотников является оптимизация их планов полета. В зависимости от целевой обстановки, назначения, критерия оптимальности и учитываемых ограничений задачи оптимальной маршрутизации полета могут существенно различаться. Авторами был опубликован ряд работ [1–3], базирующихся на едином подходе, а именно, трактовке задачи планирования полета как задачи целочисленного линейного программирования с булевыми переменными.

Был разработан единый методический подход к решению широкого спектра задач оптимального планирования полета легких беспилотников. В частности, оптимизации по минимуму времени облета заданного множества объектов, максимизации количества объектов, включаемых в маршрут при ограничении на допустимое время полета. Указанные задачи решались как для одиночных аппаратов, так и координированно действующей группы БЛА.

В докладе обсуждается разработка требований и идеологии построения специальной учебно-методической библиотеки (платформы) с применением пакета Матлаб. Разрабатываемая библиотека рассматривается как фундамент для создания программного инструмента, обеспечивающего решение различных задач планирования полета беспилотников, ориентированного на широкий круг пользователей. Пользователь данной библиотеки должен ввести определенным образом исходные данные интересующей его задачи планирования. Для удобства ему предоставляется возможность использования базы данных с описанием беспилотников, геоинформационная система для ввода точек, которые могут быть включены в маршрут и средства вывода искомой программы полета.

Таким образом, создаваемая библиотека позволит не только эффективно решать актуальные задачи планирования, но и обеспечит возможность дальнейших исследований технологий решения задач планирования полета БЛА.

Литература:

1. Калашников А.И., Моисеев Д.В. Маршрут наискорейшего облета протяженных объектов легким беспилотником с учетом выражений и действия ветра, 21-я Международная

конференция «Авиация и космонавтика». 21-25 ноября 2022 года. Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2022 – с. 33 – 34.

2. Калашников А.И., Моисеев Д.В. О применении функции `intlinprog` в специализированном программном комплексе планирования оптимальных маршрутов полета легких дронов с учетом действия ветра, 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 23-27 ноября 2020 года. Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2020 – с. 60 – 62.

3. Моисеев Д.В. и др. Программный комплекс планирования оптимальных маршрутов полета легких дронов с учетом действия ветра в зоне полета //Тезисы докладов 23-ой Международной научной конференции «Системный анализ, управление и навигация», с 1 июля по 8 июля 2018 г., г. Евпатория, Крым, Россия. – М.: МАИ, 2018 – С.139-141.

### **Концепция электрифицированного самолета: разработка предложений и расчет параметров**

Кара Г.Ю., Писарев И.А., Радченко П.С.  
ОАО «НИИЭС», г. Москва, Россия

Прогноз динамики мирового рынка указывает на стремительный рост спроса на электрифицированные самолеты, потребность в улучшении и развитии существующих образцов, их технологических и конструктивных доработках. На фоне непрерывно повышающихся требований экологического характера, предъявляемые к современной авиационной технике растут и интерес к электрическим силовым установкам, способствующим снижению вредных выбросов вплоть до нулевого показателя. Вместе с тем предполагается улучшение экономической составляющей, выраженное в снижении эксплуатационных расходов, увеличении межремонтного интервала, и сокращении простоя по техническим причинам.

Современные электрические двигатели тихие, экологичные и по отношению к своей массе обладают высокой удельной мощностью. Основной проблемой обеспечения дальних перелетов на ПЭС является значительно меньшая удельная энергоемкость аккумуляторных батарей по сравнению с используемым в настоящее время топливом, что в первую очередь значительно тормозит развитие полной электрификации самолетов.

В рамках данной работы рассматривается возможность обеспечения высокого аэродинамического качества планера для обеспечения наибольшей продолжительности полета.

Рабочая высота не более 3000 метров позволит исключить применение герметизации кабины, а также энергозатратных систем кондиционирования воздуха. Одновременно с тем набор высоты требует больших энергозатрат, что в настоящее время приводит к тенденции сократить эту фазу полета.

Высокое аэродинамическое качество планера, способность рекуперации энергии, современное программное обеспечение и применение искусственного интеллекта (ИИ) в контроллерах силовой установки дают возможность регулировать работу двигателей в соответствии с их наиболее выгодными режимами, а также соответствующим образом реагировать на влияние восходящих воздушных потоков для увеличения продолжительности полета.

Необходимость сокращения взлетной и посадочной дистанций на аэродромах класса E может быть удовлетворена за счет поворота ВМГ для улучшения взлетно-посадочных характеристик самолета. У современных синхронных электрических двигателей удельный вес значительно ниже, чем у ДВС. Это в свою очередь позволяет реализовать поворот электрических ВМГ, избежав излишнего перетяжеления приводных механизмов поворота.

Данная концепция актуальна и для самолетов военно-транспортной авиации (ВТА), самолеты которой могут совершать перелеты по нескольким аэродромам и подготовленным площадкам без дозаправки в оперативных зонах.

Литература:

1. Актуальность разработки и производства беспилотных летательных аппаратов специального назначения / Кара Г.Ю. Серебрянский С.А. // Материалы 21-й международной конференции "Авиация и космонавтика". - Москва: 2022.

2. Реализация гибридных силовых установок на многоцелевых самолетах / Кара Г.Ю. Серебрянский С.А. // Материалы международной научно-технической конференции. - Москва: 2023.

3. Системы электроснабжения летательных аппаратов / Халютин С.П. Жмуров Б.В., Тюляев М.Л. - Москва: ВУНЦ ВВС "ВВА", 2010.

4. Электрификация самолетов. Современное состояние и тенденции. Инновации на основе информационных технологий. / Халютин С.П. Харьков В.П., Лёвин А.В., Жмуров Б.В., Богданов А.А. - 2014. № 1. С.555-558.

5. Электрический самолет: концепция и технологии / Лёвин А.В. Мусин С.М., Харитонов С.А., Ковалёв К.Л., Герасимов А.А., Халютин С.П. - Уфа: УГАТУ, 2014. 388 с.

### **Многокритериальная оценка подходов к реализации интеллектуальных систем внешнего питания мультироторных информационно-измерительных комплексов**

Климов И.С., Чемоданов В.Б.

МАИ, г. Москва, Россия

Особенностью применения классических мультироторных систем является ограниченное полетное время, которое, как правило, составляет 30 мин. [1]. Для применения на небольшом радиусе действия и при необходимости высокой продолжительности полетного времени целесообразно использовать мультироторные системы с внешним питанием по кабелю. В работе рассматриваются наиболее известные системы внешнего питания для мультироторных аппаратов по следующим параметрам: способ передачи электроэнергии на летательный аппарат, способ передачи информации, требования к безопасности в процессе эксплуатации, линейная плотность троса-кабеля.

Существуют различные подходы к реализации систем с внешним питанием. Например, в компании «Геоскан» разработали мультироторный аппарат «Геоскан-401» [2], который возможно оснастить системой внешнего питания. Данная система преобразует сетевое напряжение переменного тока 220 В в напряжение постоянного тока 400 В для дальнейшей передачи на борт летательного аппарата и преобразования в необходимое напряжения работы электронной аппаратуры. Данный подход выгоден для облегчения системы кабельной передачи электроэнергии, но требует дополнительные блоки преобразования энергии и интегрирование сигнального канала в систему кабелей – электрическую или оптоволоконную. Стоит отметить высокий риск образования электрического пробоя в виду повышенного напряжения.

В качестве сопоставительного анализа рассматривается система внешнего питания китайского производства F200B-15K [3], которая является комплексом для различных аппаратов мультироторного типа. В этой системе используется похожий подход, описанный выше, но напряжение преобразования составляет 750 В постоянного тока. В данной системе для передачи энергии используется электрический кабель с сечением порядка 1.31 мм<sup>2</sup>, комбинированный с оптоэлектронным кабелем. Но риск возникновения электрического пробоя и электрической дуги очень велик и снижает безопасность организации полетов беспилотных воздушных судов.

Для уменьшения вероятности повреждений электрическим током можно использовать системы с более низким напряжением преобразования, в том числе, переменного тока, уменьшает вероятность появления электрического пробоя и позволяет использовать более распространенные преобразователи энергии. Кроме этого, по сети переменного тока можно организовать передачу данных без использования дополнительного сигнального кабеля с помощью технологии PLC (Power Line Communication) [4].

I.V. Chemodanov, K. Gavrilin, I. Klimov and A. Kotelnikova Concept for composition of hybrid flying multi-rotor platforms with distributed load and its experimental justification. - Journal of Physics: Conference Series, Volume 1925, 19th International Conference "Aviation and Cosmonautics" (AviaSpace-2020), 23-27 November 2020, Moscow, Russian Federation

2. Геоскан 401 Привязной [Электронный ресурс]// ООО «Геоскан». URL: <https://www.geoscan.ru/ru/products/geoscan401/wired> (дата обращения 02.10.2023)

3. Привязная энергосистема F200B-15K [Электронный ресурс]//Nanjing Zhongneng Power Equipment Co., Ltd URL: <http://www.ceecic.com.cn/product/97.html> (дата обращения 02.10.2023)

4. Климов И.С. Опыт создания мультиторного аппарата с внешним источником питания с защищенным каналом связи / Климов И.С. Следков Ю.Г. Чемоданов В.Б. //«Перспективные системы и задачи управления: материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции и XIV молодежной школы-семинара». – Таганрог, 2023. – С. 469-472. ISBN 978-5-902450-68-9.

### **Применение модельно-ориентированной системной инженерии**

<sup>1</sup>Клыклов П.П., <sup>1</sup>Белевцов Д.А., <sup>2</sup>Максимова И.Д.

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>НИИЦ (АКМ ВЭ) ЦНИИ ВВС МО РФ, г. Москва, Россия

До последнего времени в авиастроении применялся документо-ориентированный подход. При таком подходе информация о системах воздушного судна и их технические требования были представлены в основном на бумажных носителях. У такого подхода есть несколько ключевых недостатков [1]:

- **Согласованность требований.** Согласованность означает однородность или соответствие заявленным требованиям на всех этапах проектирования. Создание высококачественных продуктов, отвечающих потребностям пользователей, требует согласованности требований, которую регулярно сложно поддерживать при использовании бумажных процессов.

- **Прослеживаемость.** Информация о производных должна сохраняться для каждого этапа без потери вертикальной и горизонтальной прослеживаемости.

- **Управление изменениями**

Современные системы воздушного судна представляют собой сложные и высоко интегрированные системы со сложными взаимодействиями из-за чего остро встает вопрос обеспечения безопасности и надежности [2]. Это связано с возникновением каскадных эффектов, когда отказ одного элемента в системе или подсистеме может привести к не прогнозируемому отказу элементов в смежных системах [3].

Изменить ситуацию может модельно-ориентированный подход к проектированию, основанный на обмене архитектурными моделями между всеми участниками разработки с самых ранних стадий [4]. Он позволяет, начиная с ранних стадий разработки авиационной техники, проработать множество вариантов решений, в том числе проанализировать реализуемость и полноту требований – создать базис для принятия обоснованных технических решений.

Подходы модельно-ориентированной системной инженерии были использованы при проектировании системы управления полетом административного самолета в среде разработки ARCADIA/Carella. Согласно методологии ARCADIA нам необходимо провести анализ и создать следующие архитектуры системы воздушного судна [5]:

- Операционный анализ.
- Системный анализ.
- Логическая архитектура.
- Физическая архитектура.

В рамках работы был проведен системный анализ и спроектирована логическая архитектура. Использование архитектурных моделей сложных систем и высокая интеграция подсистем внутри них показали, что использование методологии ARCADIA позволяет с большей прослеживаемостью и точностью подойти к разработке систем ВС благодаря единой цифровой среде, что исключает возможные механические и логические ошибки на ранних стадиях.

Литература:

1. W.W. Royce. "Management of the Development of Large Software Systems: Concepts and Techniques.[J] International Conference on Software Engineering. 1987: 328-338

2. A.J. Shenhar, V. Holzmann, B. Melamed, and Y. Zhao, "The Challenge of Innovation in Highly Complex Projects: What Can We Learn from Boeing's Dreamliner Experience?," [J] Project Management Journal, vol. 47, no. 2, 2016: 62–78

3. Joe Gregory. The long and winding road: MBSE adoption for functional avionics spacecraft. [J] Journal of Systems and Software. 2020

4. Tanwir Ahmad, Junaid Iqbal, Adnan Ashraf, Dragos Truscan, Ivan Porres. Model-based testing using UML activity diagrams: A systematic mapping study. [J] Computer Science Review. 2019: 98-112

5. Pascal Roques. MBSE with the ARCADIA Method and the Capella Tool. [M]. 2016:11

### **Разработка математической модели управляющих действий летчика в задаче многоконтурного управления**

Корзун Ф.А., Ефремов А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящей работе приведены результаты исследования поведения летчика в задачах многоконтурного управления с целью разработки математической модели его управляющих действий.

В настоящее время рассмотрение большинства задач управления в продольном канале происходит в предположении одноконтурной задачи управления. Такой подход не позволяет достоверно описать различные этапы полета, поскольку, как правило, летчик отслеживает сразу несколько фазовых координат. В связи с этим была предложена многоконтурная математическая модель управляющих действий летчика, основанная на структурном подходе. В работе рассматривается задача точного управления высотой, в предположении, что летчик вводит дополнительную обратную связь в одном случае по вертикальной скорости, а в другом по углу тангажа. Проведено математическое моделирование многоконтурной модели действий летчика, где в каждый контур была введена модель описывающих функций летчика с учетом его шумовой составляющей, с оптимизацией коэффициентов модели действий летчика и минимизацией дисперсии сигнала ошибки отслеживания высоты. Было произведено сравнение двух математических моделей для выбора замыкаемых контуров, при которых будет наибольшая точность отслеживания дисперсии сигнала ошибки по высоте. В работе также была произведена модификация существующего метода коэффициентов Фурье для задачи многоконтурного управления и проведено полунатурное моделирование на пилотажном стенде лаборатории МАИ НИЛ ПССЛ. По результатам полунатурного моделирования была подтверждена адекватность результатов, полученных в ходе математического моделирования с экспериментом при полунатурном моделировании и показано, что вариант образования внутреннего контура по углу тангажа обеспечивает наивысшую точность слежения.

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).

Литература:

1. А.В. Ефремов и др. «Летчик как динамическая система», Москва, Машиностроение, 1992

2. А.В. Ефремов, «Система самолет-летчик. Закономерности и математические модели поведения летчика», М.: Издательство МАИ, 2017

### **Метод оптимального проектирования конструктивно-анизотропных панелей летательных аппаратов из композиционных материалов с ограничениями по уточнённой теории потери устойчивости с учётом деформации поперечного сдвига**

Корольский В.В., Гавва Л.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Широкое использование конструктивно-анизотропных панелей в современной авиационной технике требует разработки точных методов для оценки их напряженно-деформированного состояния на этапе проектирования. Новые расчетные модели являются

основой для процессов проектирования и оптимизации. Для эффективного применения композитных материалов в несущих конструкциях летательных аппаратов необходимо разрабатывать современные концепции и методы расчета, учитывать технологию производства. Необходимо моделировать напряженно-деформированное состояние и прочность реальных конструкций, находящихся в реальных условиях нагружения.

Цель исследования состоит в постановке задачи и моделировании напряженно-деформированного состояния конструктивно-анизотропных панелей, изготовленных из композиционных материалов, с учётом поперечных сдвиговых деформаций. Проводится разработка аналитических методов решения краевых задач в пределах нового дифференциального уравнения в частных производных десятого порядка.

Рассматривается задача оптимального проектирования плоских прямоугольных многослойных панелей крыла самолёта средней и большой толщины из полимерных композиционных материалов. Данные панели соответствуют зоне стыка крыла с фюзеляжем, обладают анизотропией, вследствие несимметричного расположения слоев в композитном пакете. Панели подвергаются равномерно распределенной поперечной нагрузке, при этом условия закрепления на граничных кромках произвольны.

Теория деформаций поперечного сдвига 1го порядка [1,2] расширяет классическую теорию Кирхгофа для многослойной панели [3] посредством включения существенных деформаций поперечного сдвига в статико-геометрическую модель  $k$ -го слоя композитной обшивки средней и большой толщины.

В ходе работы построено разрешающее уравнение десятого порядка с использованием метода символического интегрирования системы пяти дифференциальных уравнений равновесия панели в рамках уточнённой модели, учитывающей деформации поперечного сдвига в плоскостях  $xOz$  и  $yOz$ , которыми обычно пренебрегают при расчёте тонких обшивок.

В рамках операционной среды MATLAB разработаны прикладные программы для анализа плоских эквивалентных напряжений в углепластиковых обшивках, расположенных вблизи корневого сечения крыла, с использованием различных схем укладки слоев в пакете.

В качестве потенциальных направлений для дальнейшего исследования рассматривается возможность постановки задач статики и моделирования напряженно-деформированного состояния плоских прямоугольных панелей средней и большой толщины, изготовленных из полимерных композиционных материалов, которые эксцентрично подкреплены продольно-поперечным набором.

1. Гавва Л.М., Фирсанов В.В. Математические модели и методы расчёта напряженно-деформированного состояния панелей летательных аппаратов из композиционных материалов с учётом технологии изготовления // Известия РАН. МТТ. – 2020. - №3. -С. 122-133.

2. Gavva L.M., Firsanov V.V. Mathematical Models and Methods for Calculating the Stress-Strain State of Aircraft Panels from Composite Materials Taking into Account the Production Technology // Mechanics of Solids (Springer). – 2020. - №3. -PP. 603-612.

3. Reddy J.N. Mechanics of laminated composite plates and shells: Theory and Analysis. – London, NY, Washington D.C.: CRC Press, 2004. – 855 pp.

### **Алгоритмы идентификации объектов транспортной логистики при помощи машинного зрения с борта автономной беспилотной авиационной системы**

Костин А.С., Вознесенский Е.А., Майоров Н.Н.

ГУАП, г. Санкт-Петербург, Россия

Область беспилотных авиационных систем переживает бурный рост и привлекает внимание исследователей во всем мире, благодаря разнообразию междисциплинарных задач эта область стала одной из ключевых сфер исследований, привлекающей значительные инвестиции, ключевым из них является изучение возможностей повышения автономности БАС путем интеграции машинного обучения и искусственного интеллекта в их системы для увеличения автономности в принятии решений [1-3]. Данные решения позволяют интегрировать беспилотные авиационные системы в новые сферы деятельности, в частности

в транспортную логистику. Одна из задач данной сферы – это выполнение идентификации различных объектов транспортной инфраструктуры.

Для решения данной задачи, на базе лаборатории беспилотных авиационных систем ГУАП и автономной БАС мультироторного типа «Буран», были применены алгоритмы идентификации цветов и объектов на базе библиотеки OpenCV и разработана полетная миссия. Дрон в автономном режиме должен выполнить следующее:

1. выполнить автономный взлет квадрокоптера;
2. построить кратчайший маршрут движения квадрокоптера в заданные координаты;
3. выполнить идентификацию всех объектов, обнаруженных во время облета летного поля;
4. выполнить возврат в зону посадки с выполнением автономной посадки.

Для работы алгоритмов распознавания дронпоинтов использовалась библиотека OpenCV, предназначенная для решения задач обработки изображений, полученных с камеры квадрокоптера [3,4]. Для идентификации объектов создается словарь, в котором хранится цветовая палитра всех искомых объектов в форма цвета HSV. Данный тип цветового пространства применяется для упрощения распознавания всех оттенков искомых объектов. После поиска и обработки обнаруженных объектов, выполняется сравнение полученных контуров изображения с сохраненными данными исходных объектов и происходит поиск и сравнение по признакам с выводом результата поиска. В результате идентификации программное обеспечение сохраняет в отчет идентифицированный объект с выводом координат найденного объекта.

Литература:

1. Kostin A.S. Models and methods for implementing the autoumous performance of transportation tasks using a drone / A.S. Kostin // Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECNF) 2021 / SUAI. Saint-Petersburg. – 2021. – P. 1-4 – DOI: 10.1109/WECNF51603.2021.9470584.

2. Костин А.С. Исследование моделей и методов маршрутизации практического выполнения автономного движения беспилотными транспортными системами для доставки грузов / А. С. Костин, Н. Н. Майоров // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2023. – Т. 15. – № 3. – С. 524- 536.

3. Kang. HSV Color-Space-Based Automated Object Localization for Robot Grasping without Prior Knowledge [Электронный ресурс] / Kang, H.-C., H.-N. Han, H.-C. Bae, M.-G. Kim, J.-Y. Son, Y.-K. Kim // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11. – № 16. – P. 19. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/356210802\\_A\\_Multi-Objective\\_Coverage\\_Path\\_Planning\\_Algorithm\\_for\\_UAVs\\_to\\_Cover\\_Spatially\\_Distributed\\_Regions\\_in\\_Urban\\_Environments](https://www.researchgate.net/publication/356210802_A_Multi-Objective_Coverage_Path_Planning_Algorithm_for_UAVs_to_Cover_Spatially_Distributed_Regions_in_Urban_Environments) (дата обращения: 15.09.2023).

4. García-Pulido, J.A. UAV Landing Platform Recognition Using Cognitive Computation Combining Geometric Analysis and Computer Vision Techniques / García-Pulido, J.A., G. Pajares, S. Dormido // Cognitive Computation. – 2022. – Vol. 15. – № 17. – P. 392–413. – DOI: 10.1007/s12559-021-09962-2.

### **Анализ возможности применения адаптивных сотовых конструкций в аэродинамических элементах беспилотных летательных аппаратов**

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

В различных аэродинамических агрегатах беспилотных летательных аппаратах, таких как: фюзеляж, крыло, оперение, шпангоуты, используются элементы, состоящие из двух или более обшивок и распределёнными между ними силовыми элементами. Зачастую требуется применение элементов состоящих из двух обшивок меньше 1 мм, разнесёнными друг от друга, в этом случаях применение стрингерных конструкций приведёт к увеличению массы и вызовет сложность соединения двух обшивок, подкреплённых стрингерами. Для избегания данных нежелательных негативных факторов используется наполнитель, состоящий из регулярных геометрически правильных структур, такие как: гофры, соты, стержни. Кроме этого, можно использовать пористые материалы, которые заполняют всё предоставленное им пространство.

При применении пористых структур, невозможно регулировать расположение пор и нет возможности изменять прочностные свойства конструкции в целом, используя наполнитель. Для этого отлично подходит сотовая конструкция.

В научно-технической литературе приводятся данные, которые учитывают только один из параметров критериев целесообразности применения панелей, при этом структура наполнителя регулярна и ячейки имеют одинаковый размер.

Главным отличием сотовых панелей на прочность, от стрингерных, заключается в учете влияния сдвига и поперечных деформаций в наполнителе панели. А основными параметрами сотовых панелей являются: толщины обивок –  $\delta_1, 2$ , высота наполнителя –  $h$ , толщина стенок наполнителя –  $\delta_3$ , форма наполнителя, размер ячейки –  $ac$ , материал и его объёмная масса.

Для определения прочности панели с равномерным распределением наполнителя и одинаковой толщиной обивок, достаточно определить запас прочности в месте с наибольшими напряжениями, поскольку нагрузка растёт по линейному или квадратичному закону, в зависимости от вида нагружения. Если в этом месте уравнение устойчивости удовлетворится, то во всей конструкции оно будет автоматически удовлетворено, с учетом того, что высота наполнителя везде одинакова. А для определения прочности наполнителя необходимо рассмотреть стенку наполнителя на сдвиговые нагрузки.

Однако в таких панелях имеется избыточная прочность, поскольку допустимые напряжения одинаковы по всей длине панели, а действующие напряжения нет. Что бы оптимизировать такую панель необходимо применить топологическую оптимизацию, но технологи оптимизации изменяют форму наполнителя. Адаптировать панель можно при помощи увеличения или уменьшения размера ячейки в зависимости от напряжений для каждой отдельной ячейки. В данном случае критерием условий прочности становится удовлетворением каждой отдельной ячейки наполнителя на устойчивость обшивки внутри ячейки, при помощи изменяя толщин. В случае если у нас высота профиля изменяемая, то так же необходимо удовлетворять сдвиговые напряжения в стенки, поскольку с уменьшением высоты растут сдвиговые напряжения.

1. В.Ф. Панин. «Конструкции с сотовым наполнителем», М: Машиностроение, 1982 г.
2. В.Ф. Панин, Ю.А. Гладков. «Конструкции с наполнителем. Справочник», М: Машиностроение, 1992 г.
3. Руководство для расчета трехслойных сотовых конструкций. “Hekcel”, 1970 (технический перевод №6441, 1974 г).
4. В.Г. Пилюсян. «Методика расчета на прочность панелей с сотовыми наполнителями», 1976 г.
5. А.Я. Александров, Э.П. Трофимов. «Местная устойчивость трехслойных пластин с сотовым наполнителем при продольном сжатии», 1964.
6. Е.С. Войт "Проектирование конструкций самолетов", Москва, 1987.

### **Решение задачи проектирования рациональной конструкции руля с использованием структурной и параметрической оптимизации**

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

В традиционном представлении процесс проектирования конструкций беспилотных летательных аппаратов (БЛА) представляет собой итеративный процесс, включающий ряд последовательных приближений некоторой исходной конструкции к работоспособному и рациональному варианту. В настоящее время, благодаря развитию и широкому распространению автоматизированных систем конструирования, стало возможным использовать сложные методы структурной оптимизации и создавать конструкции, оптимальные с точки зрения прочности при минимальных затратах времени. Одним из самых распространенных методов, решающих такую задачу, является метод топологической оптимизации, зарекомендовавший себя в том числе и в авиационной [1].

Топологическая оптимизация представляет собой процесс определения рационального размещения материала внутри заданной области проектирования. Использование топологической оптимизации позволяет создать рациональную конструкцию, отвечающую

требованиям статической прочности. Однако, при проектировании несущих поверхностей, в частности аэродинамических рулей, необходимо уделять дополнительное внимание вопросам аэроупругой устойчивости, рассматривая их совместно с общей прочностью руля [2].

Избегать опасных аэроупругих явлений, в частности флаттера, возможно за счет балансировки руля. Для этого целесообразно предусмотреть в носовой части конструкции руля размещение специальной распределенной массы, конструктивно оформленной в виде усиленного носка. При этом актуальным с целью недопущения чрезмерного утяжеления конструкции руля является решение задачи оптимизации параметров балансировочного носка из условия минимума массы и аэроупругой устойчивости.

В этой связи в настоящей работе предлагается методика проектирования рациональной конструкции аэродинамического руля, включающий в себя два этапа. На первом этапе с использованием топологической оптимизации формируется силовой каркас, отвечающий требованиям прочности и ограничению по массе. Далее с использованием многостепенной математической модели на основе метода обобщенных координат проводится исследование флаттера БЛА для руля с различными значениями параметров балансировочного носка.

В рамках решения задач первого этапа определены исходные данные оптимизации, целевая функция (минимизация податливости) и ограничения. Предложен подход, позволяющий сформировать универсальный силовой каркас для конструкций с различной шириной балансировочного носка. По завершению оптимизации проведена постобработка и сформирована схема, отвечающая технологическим ограничениям и требованиям прочности.

На втором этапе проведена параметрическая оптимизация конструкции руля, по результатам которой определены оптимальные значения параметров балансировочного носка из условия минимума массы.

Таким образом конструкция аэродинамического руля, полученная в результате поэтапной оптимизации, отвечает требованиям прочности, аэроупругой устойчивости и минимума массы, что позволяет сделать вывод о перспективности предложенной методики проектирования.

1. Zhu J. H., Zhang W. H., Xia L. Topology Optimization in Aircraft and Aerospace Structures Design. Archives of Computational Methods in Engineering 23, 595–622, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11831-015-9151-2>

2. Фигуровский В. И. Расчет на прочность беспилотных летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1973, 356 с.

## **О влиянии размеров дефлекторов, расположенных вблизи поверхности цилиндра на его сопротивление**

Ле Ван Ха, Фролов В.А.

Самарский университет, г. Самара, Россия

Исследование структуры течения вокруг круглого цилиндра является одной из актуальных тем механики жидкости и газа из-за широкого применения в промышленности. Некоторые примеры: ветряные турбины, башни, высотные здания, морские сооружения, промышленные дымоходы и подвески мостовых тросов. В авиации явление снижения сопротивления цилиндрических объектов уже давно вызывает большой интерес у многих учёных. Для снижения лобового сопротивления цилиндра ранее были применены различные пассивные и активные методы. Активные методы характеризуются своей эффективностью и тем, что они требуют подвода энергии извне. Пассивные методы основаны на добавлении дополнительных тел вблизи цилиндра или изменении геометрии поверхности цилиндра, поэтому в отличие от активных методов, они не требуют подвода энергии. Основным принцип этих методов заключается в смещении точки отрыва назад по течению, поскольку более поздний отрыв течения приводит к снижению силы лобового сопротивления.

В работе выполнено исследование пассивного метода снижения лобового сопротивления за счёт установки плоских пластин вблизи цилиндра. Задача моделирования была ограничена двумерным случаем. С помощью вычислительного пакета ANSYS Fluent получены поля скоростей и давлений вблизи цилиндра, зависимости коэффициента лобового

сопротивления от количества и относительных длин дефлекторов. Приводится сравнение результатов расчёта по стационарной и нестационарной постановкам задачи. Показано, что коэффициент лобового сопротивления системы цилиндр-дефлекторы может быть уменьшен приблизительно на 40% по сравнению с изолированным цилиндром.

**Численное исследование возможности попадания рулевого винта в режимы «вихревого кольца» под воздействием вихревого следа несущего винта при полете с малыми скоростями со скольжением**

<sup>1</sup>Макеев П.В., <sup>1</sup>Игнаткин Ю.М., <sup>2</sup>Шомов А.И., <sup>3</sup>Ивчин В.А.

<sup>1</sup>МАИ, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>АО «НЦВ Миль и Камов», п. Томилино, Россия

<sup>3</sup>АО «ХЕЛИБЮРО», г. Москва, Россия

Известно, что на режимах горизонтального полета вихревой след за лопастями несущего винта (НВ) трансформируется в систему из правого (ПВВЖ) и левого (ЛВВЖ) продольных вторичных вихревых жгутов, расположенных по краям диска винта, которые в значительной мере определяют поле скоростей вокруг винта [1]. При висении вертолета в условиях бокового ветра и при горизонтальном полете со скольжением возможны случаи попадания рулевого винта (РВ) в один из ВВЖ НВ вертолета. При этом РВ испытывает значительное индуктивное воздействие, ведущее к изменению его аэродинамических характеристик (АХ). Особенно значительно это индуктивное воздействие при небольших скоростях горизонтального полета, около 7-12 м/с, когда ВВЖ НВ имеют максимальную интенсивность [1]. В ряде случаев наблюдается отрицательное влияние ВВЖ на РВ, приводящее к росту его потребных углов установки лопастей и мощности [2]. При полете или висении с боковым ветром так же возможно возникновение режимов "вихревого кольца" (ВК) РВ, которые могут привести к существенному ухудшению АХ РВ. АХ РВ, в том числе на режимах ВК, обычно исследуют в изолированной постановке без учета влияния НВ [3]. При этом в реальной ситуации индуктивное влияние НВ может существенно изменить картину обтекания РВ и спровоцировать режимы ВК в условиях, в которых для изолированного РВ они не наблюдаются. Указанные обстоятельства делают исследование подобных режимов с учетом интерференции между НВ и РВ вертолета весьма актуальной задачей.

В представленной работе на примере комбинации НВ и РВ вертолета типа Ми-8/17 исследуется возможность попадания РВ в режимы ВК при полете с малыми скоростями со скольжением под влиянием ВВЖ НВ. Используется нелинейная вихревая модель винта, разработанная на кафедре "Проектирование вертолетов" МАИ. Выполнено большое количество параметрических расчетов для различных скоростей набегающего потока  $V$  и углов скольжения  $\beta_n$ . Обнаружена область режимов полета  $V = 6,25-7,5$  м/с и  $\beta_n = 20-40^\circ$  где воздействие со стороны ПВВЖ НВ приводит к попаданию РВ в режимы ВК, сопровождающиеся пульсациями тяги и крутящего момента винта, ростом потребной на вращения РВ мощности до 30%, а также значительным ростом потребных углов установки лопастей РВ по сравнению с изолированным РВ. Кроме того, показана возможность возникновения условий, когда влияние НВ снижает АХ РВ при любых углах скольжения (углах разворота вертолета по отношению к внешнему потоку). Повышение потребных углов установки и потребной мощности на вращения РВ в таких условиях может быть одной из предпосылок к возникновению неуправляемого вращения вертолета одновинтовой схемы.

1. Игнаткин Ю.М., Макеев П.В., Шомов А.И., Шайдаков В.И. Исследование структуры вихревого следа несущего винта вертолета на малых скоростях полета // Общероссийский научно-технический журнал "Полет". 2018. №3. С. 52-59.

2. Расчетные исследования аэродинамических характеристик комбинации несущего и рулевого винтов с учетом аэродинамической интерференции для вертолета Ми-8/17 при полете с малыми скоростями со скольжением // Общероссийский научно-технический журнал "Полет". 2017. № 5. С. 30-39.

3. Игнаткин Ю.М., Макеев П.В., Ивчин В.А., Шомов А.И. Сравнительные расчетные исследования трехлопастного и X-образного рулевых винтов на режимах "вихревого кольца"

### **Подходы к исследованию и критерии анализа границ режимов «вихревого кольца» винтов вертолетов**

Макеев П.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Режимы "вихревого кольца" (ВК) наблюдаются при обтекании винта с положительными углами атаки. Для несущего винта эти условия реализуются при крутом снижении вертолета, а для рулевого винта при полете со скольжением, висении с боковым или развороте вертолета. Режимы ВК винта сопровождаются рядом характерных явлений, связанных с поведением его аэродинамических характеристик, в том числе явлений негативного характера. К последним относятся, прежде всего, снижение тяги винта, рост потребной мощности, пульсации тяги и крутящего момента, неустановившееся маховое движение лопастей и др. С точки зрения пилотирования вертолета они выражаются в резкой потере высоты, росте расходов управления, высоком уровне вибраций, "размытии" конуса вращения лопастей, ухудшении управляемости [1, 2]. Все это определяет высокую актуальность исследований данных режимов и важность практической реализации задачи определения их границ, выполняемых при помощи экспериментальных модельных и летных исследований, а также с применением методов вычислительной аэрогидродинамики.

Несмотря на более чем 70-летний опыт таких исследований, режимы ВК по-прежнему остаются изученными недостаточно. Их результаты плохо поддаются систематизации и часто не согласуются друг с другом, что обусловлено большим разнообразием применяемых подходов и методов, отличиями в параметрах исследуемых винтов, а также ограниченностью таких исследований, прежде всего из-за их крайней сложности и трудоемкости.

В работе рассмотрены существующие подходы к исследованию режимов ВК винтов вертолетов на основе существующих экспериментальных и расчетных работ, а также опыта численных исследований [3, 4] данных режимов на базе разработанной на кафедре "Проектирование вертолетов" МАИ нелинейной лопастной вихревой модели винта [5]. Оценены преимущества и недостатки двух применяемых подходов: исследование аэродинамических характеристик винтов при фиксированном угле установки и при фиксированной средней по времени тяге винта. Систематизированы критерии, применяемые для определения границ режимов ВК. Сформирован и предложен комплекс критериев, отражающий известные признаки режимов ВК. Проанализированы различные экспериментальные и численные методы с точки зрения возможности получения различных аэродинамических характеристик и применения различных критериев. Показана перспективность применения для решения подобных задач современных нелинейных вихревых моделей с учетом текущего уровня развития вычислительной техники.

1. Акимов А.И. Аэродинамика и летные характеристики вертолетов – М.: Машиностроение, 1988. – 144 с.

2. Петросян Э. А. Аэродинамика соосного вертолета – М.: Полигон-Пресс, Москва, 2004. – 820 с.

3. Игнаткин Ю.М. и др. Расчетные исследования режимов висения и вертикального снижения несущего винта на базе нелинейной лопастной вихревой модели // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2018. №3. С. 73-80.

4. Makeev P.V., Ignatkin Yu.M., Shomov A.I. Numerical investigation of full scale coaxial main rotor aerodynamics in hover and vertical descent, Chinese Journal of Aeronautics, Volume 34, Issue 5, 2021, pp. 666-683.

5. 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.

## Использование податливых механизмов в конструкции шасси самолета

Миловидов А.В., Попов Ю.И.

МАИ, г. Москва, Россия

В процессе создания конкурентоспособных летательных аппаратов требуются новые материалы и механизмы. Разрабатываемые узлы, входящие в конструкцию агрегата, должны выполнять свою функцию, выдерживать действующие нагрузки и иметь достаточно низкую удельную массу [1].

Снижение веса агрегата является первоочередной задачей на начальных этапах проектирования и в процессе производства летательного аппарата [2, 3].

В работе рассматривается возможность использования податливых механизмов в конструкции самолета, в частном случае в кинематических цепях шасси [4]. Преимущества заключаются в относительной простоте изготовления, в отсутствии необходимости сборки, в достижении более сложной кинематики при небольшом размере и возможности проектировать конструкцию на основе бионических систем, и возможности применения аддитивных технологий в производстве [5].

Изложены основные принципы работы податливых механизмов: топология, геометрия и материалы. Описываются основные методы проектирования податливых механизмов: ограничение степеней свободы, топологическая оптимизация и модель псевдожесткого тела.

Рассматриваются податливые механизмы с разных сторон, предлагая свой подход к осуществлению гибких соединений. Анализируются различные свойства материалов для выбора их оптимальной комбинации.

Основными критериями являются: предел текучести, модуль упругости, температурный коэффициент расширения, коэффициент диффузии тепла и плотность.

Показаны основные типы материалов и ограничения их использования в податливых механизмах. Предлагаются способы расчета кинематики и динамики податливого механизма.

Существует два способа: матричный метод и метод конечных элементов. Представлен пример матричного метода для первого приближения к истинным характеристикам конструкции. Показаны примеры использования податливых механизмов.

В заключении предлагаются возможные способы использования податливых механизмов в конструкции шасси. Также выдвигаются основные проблемы, требующие более подробного рассмотрения в будущем.

Литература:

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

2. Ресулкулыева Г.Г. Весовая модель конструкции агрегатов планера самолета на основе регрессионного анализа / Г.Г. Ресулкулыева, М.В. Майсак, С.А. Серебрянский // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: Сборник тезисов докладов – Москва: ИД Академии имени Н. Е. Жуковского, 2023. – С. 130-132. – EDN ZLSOGB.

3. Маланко Г.Е. Влияние применения материалов композиционных структур на весовые характеристики маневренного сверхзвукового самолёта / Гагаринские чтения - 2023 – Москва: Издательство "Перо", 2023. – С. 43-44. – EDN HOOKTH.

4. Титов Е.И. К вопросу проектирования конструкции слабых звеньев навески основных опор шасси / Е.И. Титов, С. А. Серебрянский //Инженерный журнал: наука и инновации. – 2023. – № 6(138). – DOI 10.18698/2308-6033-2023-6-2283. – EDN QSGMEE.

5. Меркулов А.Г. О возможности применения аддитивных технологий в производстве летательных аппаратов / А.Г. Меркулов // Гагаринские чтения: Сборник тезисов докладов – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020. – С. 976-977. – EDN QPEPDQ.

## **Исследования устойчивости и геометрически нелинейного поведения поверхностных дефектов плоских композитных панелей при сжатии**

<sup>1</sup>Митрофанов О.В., <sup>2</sup>Огурцов М.С.

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>ПАО «Яковлев», г. Москва, Россия

При проектировании современных авиационных тонкостенных конструкций из композитных материалов необходимо проводить оценку влияния различных дефектов на прочностные характеристики. В данной работе представлены результаты исследований устойчивости и геометрически нелинейного поведения поверхностных тонких дефектов плоских несущих композитных панелей при продольном сжатии. Объектами исследований являлись дефекты типа расслоений различной формы (круглые и квадратные) и разных структур (ортотропных и несимметричных) в углепластиковых панелях. В рассмотренных примерах толщины панелей не превышали 4 мм, а толщины поверхностных расслоений не превышали 0,5 мм. Представлены следующие основные результаты.

Во-первых, приведены аналитические решения геометрически нелинейных задач прямоугольных композитных панелей несимметричной структуры при сжатии [1] при различных граничных условиях. Указанные решения получены методом Бубнова-Галеркина. Представлены результаты параметрических исследований для углепластиковых панелей при наличии начальной погиби, которая может соответствовать поверхностным дефектам. Рассмотрена геометрически нелинейная задача совместного деформирования монолитной панели и локального поверхностного дефекта прямоугольной формы при продольном сжатии.

Во-вторых, проведены численные исследования композитных панелей с учетом указанных выше особенностей методом конечных элементов. Представлены результаты определения критических напряжений, а также вычисления напряженно-деформированного состояния дефектов и панелей при геометрически нелинейном поведении. Приведены сравнительные результаты критических напряжений локальных дефектов типа расслоений квадратной и круглой формы при сжатии.

В-третьих, представлены результаты экспериментальных исследований прямоугольных конструктивно подобных образцов (КПО) с поверхностными дефектами различной формы и структуры при сжатии. Отмечено, что при испытаниях КПО использовано приспособления соответствующее ASTM D 7137.

Проведен сравнительный анализ аналитических и численных исследований с результатами испытаний. Представлены рекомендации по определению допустимых поверхностных дефектов гладких углепластиковых обшивок композитных конструкций.

Литература:

1. Митрофанов О.В. Прикладные геометрически нелинейные задачи при проектировании и расчетах композитных авиационных конструкций. – М.: МАИ (НИУ), 2022. – 164 с. – ISBN 978-5-4316-0984-8.

## **Проектирование гладких металлических панелей средней толщины с учетом обеспечения устойчивости и прочности при закритическом поведении**

Митрофанов О.В., Торопылина Е.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

В работе рассмотрены гладкие металлические панели средней толщины и особенности анализа закритического состояния, при проведении которого учитывались дополнительные мембранные и изгибные напряжения. Целью работы являлась разработка прикладных методик (алгоритмов) определения минимальных толщин металлических панелей при геометрически нелинейном состоянии с получением аналитических соотношений и формализация алгоритма общего подхода (алгоритма) для задач проектирования металлических панелей с учетом мембранные и изгибные напряжений. В указанных методиках в качестве критерия использовано условие достижения суммарных эквивалентных напряжений предельным по прочности напряжениям, что обеспечило равенство единице минимальных запасов. Отмечено, что рассматривается начальный этап закритического поведения и не допускается вторичная бифуркация. Для получения

аналитических решений геометрически нелинейных задач использован метод Бубнова – Галеркина. В работе рассмотрены металлические панели при условиях шарнирного опирания. В работе представлены следующие прикладные методики проектирования гладких металлических панелей. Во-первых, предложены методики (алгоритмы) определения минимальных толщин при сжатии, сдвиге и при комбинированном нагружении с учетом возникновения мембранных и изгибных напряжений при потере устойчивости. Во-вторых, формализованы пункты алгоритма общего подхода для проектирования металлических панелей с учетом мембранных и изгибных напряжений при потере устойчивости. В – третьих, рассмотрены методики, учитывающие два уровня нагружения [1]: на первом уровне необходимо обеспечить устойчивость панелей, а на втором – прочность при закритическом поведении и учетом мембранных и изгибных напряжений. В этом случае рассмотрены переменные величины – толщина и ширина панели. Отмечено, что предложенные методики являются дополнением для методологии проектирования по закритическому состоянию [2] в случае рассмотрения металлических панелей средней толщины.

Литература:

1. Mitrofanov O., Osman Masen Designing of Smooth Composite Panels Providing Stability and Strength at Postbuckling Behavior / O. Mitrofanov, M. Osman // Mechanics of Composite Materials. – 2022. – DOI 10.1007/s11029-022-10008-3.

2. Митрофанов О.В. Прикладные геометрически нелинейные задачи при проектировании и расчетах композитных авиационных конструкций. – М.: МАИ (НИУ), 2022. – 164 с. – ISBN 978-5-4316-0984-8.

### **Проектирование композитных панелей по закритическому состоянию при ограничениях по усталостной прочности с учетом критерия разрушения по нагруженным отверстиям стыков**

Митрофанов О.В., Коробейников Е.В.

МАИ, г. Москва, Россия

При разработке несущих панелей тонкостенных композитных конструкций самолетов малой и среднемагистральной авиации допускается потеря устойчивости тонких обшивок при нагрузках близких к эксплуатационному уровню. В работе [1] предложена методология проектирования несущих панелей из композитных материалов по закритическому состоянию. В статье [2] представлена методика проектирования несущих панелей с учетом допустимости геометрически нелинейного поведения и использования критериев прочности в потенциально-критических точках регулярных зон при использовании программы усталостного нагружения. В работе [3] предложена методика расчета долговечности соединений элементов тонкостенных конструкций и формула для приведенных напряжений, в которой учитываются номинальные напряжения, действующие перед рассматриваемым концентратором (элементом крепежа), а также коэффициенты смятия и член, учитывающий изгибные напряжения, действующие в зоне рассматриваемого концентратора. Кроме того, в работе [1] при определении минимальных толщин несущих панелей средней толщины предложено учитывать мембранные и изгибные напряжения, возникающие при потере устойчивости.

Объектами исследований данной работы являются несущие композитные панели, находящиеся в условиях переменного нагружения типового полета при допустимости геометрически нелинейного поведения с учетом использования критерия прочности разрушения по нагруженным отверстиям стыков крепления.

В работе предложена методика определения минимальных толщин композитных панелей при допустимости закритического поведения, основанная на аналитическом решении геометрически нелинейной задач методом Бубнова-Галеркина. В методике учитываются мембранные и изгибные напряжения, возникающие при потере устойчивости панели при условиях жесткого опирания. Минимальные толщины панелей определяются из условия равенства предельных напряжений композитной структуры панели сумме трех компонентов,

указанных выше [3] в критерии прочности разрушения по нагруженным отверстиям стыков панели.

В работе предложены алгоритм практической реализации методики с учетом аналитического подхода, характерного для начального этапа проектирования, и алгоритм, предполагающий использование метода конечных элементов для последующих этапов проектирования.

Литература:

1. Митрофанов О.В. Прикладные геометрически нелинейные задачи при проектировании и расчетах композитных авиационных конструкций. – М.: МАИ (НИУ), 2022. – 164 с. – ISBN 978-5-4316-0984-8.

2. Mitrofanov O., Shkurin M. Determination of minimum thickness of composite panels taking into account limits on stability and fatigue under postbuckling behavior. Aerospace Systems (ISSN: 2523-3947). <http://dx.doi.org/10.1007/s42401-023-00206-9>

3. Басов Н.В., Панков А.В. Методика расчета долговечности продольных и поперечных стыков фюзеляжа // Прочность, колебания и ресурс авиационных конструкций. Труды ЦАГИ. Вып.2798. М.: ЦАГИ. –С.207-214.

### **Решение динамической задачи деформирования фюзеляжа вертолета при аварийной посадке**

Молин К.Е., Гришанина Т.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В процессе проектирования авиационной техники в первую очередь уделяют внимание обеспечению статической и усталостной прочности.

Задачи, связанные с обеспечением ударостойкости конструкции при таком подходе, не рассматриваются. В данной работе представлено решение задачи деформирования вертолета в процессе аварийной посадки на основе метода конечных элементов.

Основным объектом исследования является фюзеляж вертолета. Для моделирования выбран удар упругого фюзеляжа о абсолютно жесткую плиту при падении с вертикальной скоростью. При аварийной посадке, кинетическая энергия вертолета гасится за счет амортизации шасси и пластической деформации конструкции фюзеляжа. В качестве вычислительного инструмента используется расчетный пакет MSC.Patran/Dytran. При моделировании аварийной посадки вертолетов и самолетов акцентировано внимание на различии в подходах выбора конечно-элементных моделей и граничных условий.

В данной работе приведено сравнение результатов расчета, полученных при использовании различных подходов в конечно-элементном моделировании конструкции фюзеляжа на примере типового отсека.

Представлены сравнения результатов расчета для различных уровней проработанности конечно-элементных моделей. Оценено их влияние на время выполнения расчетов и достоверность полученных результатов.

Описаны типовые проблемы, с которыми может столкнуться инженер, при проведении подобных расчетов. Проведена сравнительная оценка разрушения конструкции при нагружении эквивалентными нормированными статическими нагрузками и при моделировании реального удара.

Сформированы выводы о необходимости и возможности проведения динамических расчетов на стадии проектирования, а также выделены основные особенности работы составных элементов конструкции фюзеляжа в условиях аварийной посадки.

Литература:

1. MIL-STD-1290A, Military Standart: light fixed and rotary wing aircraft crush resistance, 1988.

2. Todd R.Hurley, Jill M. Vandenburg, Small Airplane Crashworthiness Design Guide – Simula Technologies, 2002 – 414 p.

## **Расчетное исследование устойчивости композитных ортотропных панелей больших толщин с учетом деформаций поперечного сдвига при сжимающих и сдвиговых нагрузках**

Мольков О.Р., Больших А.А., Грибцов Д.Д.  
МАИ, г. Москва, Россия

За последние несколько десятилетий авиационная промышленность расширила использование композитных материалов в конструкции гражданских транспортных самолетов, в настоящее время включающей использование передовых полимерных композиционных материалов в большинстве агрегатов летательного аппарата, включая силовые элементы, такие как кесон крыла и оперения. В современных гражданских широкофюзеляжных самолетах, таких как Boeing 787, Boeing 777, Airbus A350 и российско-китайский CR929 процент использования композитных материалов достигает 55%.

В широкофюзеляжных самолетах толщины обшивки кессона крыла могут достигать 20-24 мм. Стандартные подходы к расчетам на потерю устойчивости композитных панелей основываются на линейной теории Кирхгофа-Лява, в которой учитываются только компоненты тензора напряжений в плоскости слоя, но данный подход плохо реализуем для больших толщин. Проведя детальный обзор научной литературы, была выявлена проблематика отсутствия доступных и показательных зависимостей по определению критической силы по потере устойчивости панелей из ПКМ при сдвиговых нагрузках с учетом деформаций поперечного сдвига.

В данной работе проведено численное исследование композитных панелей крыла больших толщин при потере устойчивости при сжатии и сдвиге. Для определения критических усилий, при которых панель теряет устойчивость авторами работы использовался подход численного моделирования с помощью метода конечных элементов (МКЭ). Также проведен обзор существующих аналитических зависимостей по определению критических сил по потере устойчивости композитных панелей с учетом деформации поперечного сдвига при сжатии и сдвиге. Научной новизной данного исследования является разработка своей эмпирической зависимости для задач устойчивости композитных панелей больших толщин под воздействием сдвиговой нагрузки с учетом деформации поперечного сдвига.

После валидации расчетных моделей авторы провели серию виртуальных испытаний и аналитических вычислений для панелей разных габаритов и толщин. На основе полученных данных эмпирическим путем было исследовано влияние деформаций поперечного сдвига при сжимающих и сдвиговых нагрузках, также получено аналитическое соотношение для оценки потери устойчивости композитных панелей больших толщин при сдвиге.

Практическая значимость рассмотренной задачи заключается в разработке подхода по расчету силы потери устойчивости, максимально приближенный к экспериментальным данным, т.к. аналитические зависимости могут значительно увеличить массу самолета за счет своей консервативности и большой погрешности.

Следующим этапом научной работы авторы планируют провести эмпирическое исследование по определению потребного коэффициента запаса по потере устойчивости композитных панелей больших толщин при сдвиговых и сжимающих нагрузках с учетом ударных воздействий и дефектов 1ой категории.

1. Pogosyan M.; Nazarov E.; Bolshikh A.; Korolskii V.; Turbin N.; Shramko K. Aircraft composite structures integrated approach: a review, J. of Physics: Conference Series., 2020, 1925. DOI 10.1088/1742-6596/1925/1/0/012005.

2. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.

3. 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.

## **Разработка технологии определения толщины оксидных покрытий при производстве и ремонте летательных аппаратов**

Олешко В.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Введение. Применяемые в летательных аппаратах (ЛА) металлические детали защищают покрытиями, сохраняющими их эксплуатационные свойства, повышающими ресурс и срок службы [1]. Качество оксидных покрытий по применяемой в настоящее время технологии зачастую контролируют методом сравнения с эталонными образцами, толщина покрытия при этом не контролируется. Это может привести к пропуску брака оксидного покрытия, наносимого в процессе изготовления или ремонта детали.

Работа выхода электрона (РВЭ) из металла зависит от слоя оксидов на его поверхности. Определить величину РВЭ из металлов позволяет метод контактной разности потенциалов (КРП).

Целью работы является оценка возможности разработки технологии определения толщины оксидного покрытия металлических авиационных деталей методом КРП, применяемой при производстве или ремонте ЛА.

Методы. Поверхность образцов из стали СтЗсп последовательно шлифовалась наждачной бумагой зернистостью 100, 50, 20, 10 и 5 мкм. Затем поверхность образцов очищалась. Далее проводилось химическое оксидирование поверхности образцов. Время оксидирования образцов варьировалось.

До и после химического оксидирования на поверхности образцов измерялась КРП устройством [2]. При этом была определена толщина оксидного покрытия образцов толщиномером «Константа К6Ц».

Методом наименьших квадратов определена формула, описывающая корреляцию величин КРП и толщины оксидного покрытия стальных образцов.

Результаты. Проведённые исследования показали, что с увеличением толщины нанесённого химическим способом оксидного покрытия КРП уменьшается, что свидетельствует об увеличении РВЭ. Работа выхода увеличивается вследствие того, что оксиды металлов являются полупроводниками или диэлектриками.

Выводы. Проведённые исследования показали, что разработка технологии определения методом КРП толщины оксидного покрытия металлических деталей в процессе производства или ремонта ЛА представляется возможной.

Литература:

1. Краев В.М., Силуянова М.В., Тихонов А.И. Подходы к моделированию жизненного цикла современных отечественных авиационных двигателей // Финансовая экономика. 2019. № 2. С. 177–183. – EDN YUMJGP.

3. 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.

## **Математические методы для автоматизации функционально-логического проектирования систем**

Очередько С.В.

ФАУ «ГосНИИАС», г. Москва, Россия

Область исследования охватывает концептуальные и функционально-логические аспекты широкого спектра технических систем. Для формализации понятийных моделей, внутреннего строения, функциональности и поведения систем определена Регулярная Система Отношений (далее – РСО) в терминах материи, пространства, времени и граничных условий. Она использована для формирования основ перспективного языка моделирования и анализа систем. РСО опирается на «дистинктивный метод», связывающий мир идей инженеров, конструкторов и испытателей с известными или объяснимыми особенностями, закономерностями и граничными условиями физического мира.

Функция в терминах РСО определена, как отношение изменяемого, изменяющего, изменённого и условий изменения. Каждое из перечисленных определено, как имя и

упорядоченный набор свойств. Любое свойство определено, как набор тождеств, подобия, эквивалентности и соответствующих различий. Каждая разница и каждое изменение определено, как составное событие, которое может быть разложено на сохранение, дополнение, отрицание и трансформацию заданного ограниченного набора признаков. Таким образом, ряд задач исследования систем на нижнем уровне может быть сведён к известным и вполне решаемым теоретико-множественным задачам известных четырёх типов – выборка (фильтр), группирование, сортировка и проецирование, что может быть реализовано доступными вычислительными средствами.

Чтобы анализировать и синтезировать целевую систему, разработчику необходимо: 1) определить её в терминах категорий предметных областей, 2) упростить систему, разделив её на взаимно ортогональные и взаимосвязанные описания и представления, и 3) на полученную таким образом теоретической системе, выполнить наложение отношений и граничных условий на её составные части. В полученном представлении система становится источником исходных данных для одновременного (последовательного или циклического) решения теоретико-множественных и логических задач, обеспечивающих:

- экспериментирование ("Что будет, если ...", "What-if") с целью проверки гипотез и для поддержки "методов проб и ошибок";
- синтез конфигурации системы с заданными свойствами ("Как сделать, чтобы ...", "How-to") математическими методами и прикладывая формализованные знания соответствующих предметных областей;
- установление отношения внутреннего строения к внешним свойствам (функциональность и поведение).

Полученные результаты исследований открывают возможность решать цепочки взаимосвязанных концептуальных, логических и функциональных задач инженерии в различных режимах и на различных стадиях разработки, с охватом различных предметных областей и минимизируя объёмы работ методом «проб и ошибок».

Литература:

1. Карпенко, А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. - 446 с.
2. Божко А.Н. Структурный синтез как задача дискретной оптимизации. Журнал "Наука и образование" № 09, 2010. 13 стр.
3. Бочаров В.А. Обзор перехода от требований к решениям в системной инженерии. Вестник РГГУ. 2022. №3. Стр. 8 – 22.
4. Бочаров В.А. Расширение нотации IDEF0 для функционального описания динамических систем. Вестник РГГУ. 2023. №2. Стр. 8 - 29
5. Бломин С.Л., Боровкова Развитие методов графоструктурного моделирования и анализа конечных изменений. Учебник Липецкого ГТУ. 2021. 112 стр.

### **Выбор рациональной структурной схемы охлаждения воздуха и формирование потребных параметров отбора электрифицированной системы кондиционирования воздуха**

Паневин А.Ю., Гришина Л.А.  
МАИ, г. Москва, Россия

Особенностью электрических систем кондиционирования воздуха является наличие электроприводного автономного компрессора, который служит источником сжатого воздуха. Автономный компрессор подает в систему кондиционирования воздух, непосредственно забираемый из атмосферы.

Рассматривая использование электроприводных воздушных компрессоров для электрической системы кондиционирования, можно выделить следующие параметры: давление, а, следовательно, и температура воздуха на выходе из автономного нагнетателя должны быть меньше, но потребными для сохранения эффективности цикла охлаждения. Снижение параметров давления и температуры необходимо для уменьшения массогабаритных характеристик системы кондиционирования в целом. Данное обстоятельство позволяет упростить подсистему охлаждения воздуха.

В настоящее время в авиационной технике существуют следующие виды подсистем охлаждения воздуха, базирующиеся на воздушном цикле: 2-х колесные с вентилятором или турбокомпрессором и влагоотделением в линии низкого давления, 3-х колесные и 4-х колесные с влагоотделением в линии высокого давления. Исходя из анализа структурных схем, была выбрана 4-х колесная схема охлаждения с петлевой схемой влагоотделения в линии высокого давления, имеющая меньшие требования отбора воздуха и оптимальные характеристики по холодопроизводительности и весу. Особенностью данной схемы является расположение на одном валу вентилятора, компрессора, а также двух ступеней турбины, обеспечивающих расширение воздуха до давления в гермокабине с запасом на гидравлические потери в системе распределения воздуха.

В программе 1D-моделирования Simcenter AMESim разработана имитационная модель 4-х колесной установки охлаждения воздуха, позволяющая моделировать и анализировать ее работу в динамике согласно профилю полета.

В работе разработан алгоритм расчета функциональных подсистем регулирования с учетом параметров окружающей среды, режима полета, степени загрузки самолета пассажирами с применением напорной характеристики компрессора.

Для эффективной и устойчивой работы автономного компрессора, используя CFD пакет FloEFD, определено оптимальное место установки воздухозаборника в обтекателе «крыло-фузеляж» с точки зрения минимального влияния пограничного слоя на его работу и удовлетворения потребного расхода воздуха для воздухообмена и надува гермокабины.

Литература:

1. Дьяченко Ю.В., Горбачев М.В., Пашенко Н.И. Термодинамика циклов авиационных систем кондиционирования воздуха. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 240 с.
2. Шустров, Ю.М. Проектирование авиационных систем кондиционирования воздуха / Ю.М. Шустров. – Москва: Изд-во Машиностроение, 2006. – 384 с.

### **Классификация трибосопряжений механических систем вертолетов и общие методы обеспечения их долговечности по условиям трения и износа**

Писарев В.Д., Макаров А.Д.  
ФАУ ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Вертолет представляет собой винтокрылый летательный аппарат, особенности конструкции которого обеспечивают его уникальность как воздушного судна. Особые летно-технические характеристики вертолетов, такие как маневренность, способность совершать вертикальный взлет и полет в любом направлении и др., обеспечивают им существенные преимущества по сравнению с самолетами при решении целого ряда задач. В частности, одним из главных таких преимуществ является возможность функционировать в труднодоступной местности, где нет аэродромов и специального оборудования [1, 2].

Основной задачей при проектировании вертолета является правильный выбор его конструктивной схемы, двигателя, трансмиссии, параметров несущего и рулевого винтов, а также многих других механизмов, обеспечивающих достижение заданных летных характеристик [3-5].

Одними из главных показателей хорошего современного вертолета являются его долговечность и надежность в эксплуатации. Следовательно, вопросу обеспечения этих показателей должно быть уделено исключительное внимание. Необходимо не только стремиться к достижению высоких значений статической и динамической прочностей, но и обеспечить нормальный (штатный) износ трибосопряжений механических систем вертолетов.

В данной работе приведена классификация трибосопряжений механических систем вертолетов, а также проведен анализ основных методов обеспечения долговечности таких систем по условиям трения и износа. Рассмотрены случаи отказов элементов механических систем вертолетов по условию износостойкости при проведении ремонтов. Предложен метод обеспечения долговечности трибосопряжений механических систем вертолетов по критерию работоспособности в соответствии с разработанной классификацией.

Литература:

1. Гвинтковкин И.Ф., Стояненко О.М. Справочник по ремонту летательных аппаратов. М.: Транспорт, 1977. 312 с.
2. Кручинский Г.А. Ремонт авиационной техники. М.: Машиностроение, 1980. 216 с.
3. Э.Б. Булгакова. Авиационные зубчатые передачи и редукторы. Справочник/Под ред. М.: Машиностроение, 1981. 374 с.
4. Мишин В.П., Осин М.И. Введение в машинное проектирование летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1978, 128 с.
5. Бушмарин Л.Б., Дементьев П.П., Иоффе Г.И. Механические передачи вертолетов. М.: Машиностроение, 1983. 11 с.
6. Гришко В.А. Повышение износостойкости зубчатых передач. М.: Машиностроение, 1977. 232 с.
7. Рыжов Э.В., Сулов А.Г. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. М.: Машиностроение, 1979. 176 с.

### **Разработка математической модели управляющих действий летчика в задаче многоканального управления**

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

В настоящей работе приведены результаты исследования поведения летчика в задачах многоканального управления с целью разработки математической модели его управляющих действий.

Для проведения экспериментальных исследований с использованием полунатурного моделирования на пилотажном стенде лаборатории МАИ НИЛ ПССЛ была произведена модификация существующего метода коэффициентов Фурье для задачи многоканального управления. С целью учета влияния перекрестных связей между каналами были выбраны параметры полигармонических входных сигналов и разработан алгоритм интерполяции получаемых частотных характеристик на общие частоты.

Рассмотрено влияние распределения внимания летчика между каналами управления. Проведены экспериментальные исследования на пилотажном стенде для задач одноканального и двухканального управления, в ходе которых получены частотные и интегральные характеристики системы самолет-летчик. Проведено сравнение дисперсии сигнала ошибки в случае, когда летчик отслеживает одновременно две координаты, с дисперсией сигнала ошибки при управлении в одном канале. Сделано предположение, что влияние второго канала может быть учтено за счет параметра распределения внимания летчика, используемого при расчете спектральной плотности шума, вводимого летчиком. Выполнено математическое моделирование, в ходе которого был подобран такой параметр распределения внимания летчика между каналами, при котором результаты математического моделирования были бы адекватны результатам экспериментальных исследований.

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)

Литература:

1. А.В. Ефремов и др. «Летчик как динамическая система», Москва, Машиностроение, 1992
2. А.В. Ефремов, «Система самолет-летчик. Закономерности и математические модели поведения летчика», М.: Издательство МАИ, 2017

### **Применение концепции и перспективных средств аэромобильности в создании доступной для населения удаленных регионов РФ системы авиасообщений**

Редькин А.В., Ефремов А.А., Пальченко Н.В.  
АО «НЦВ Миль и Камов», п. Томилино, Россия

Известно, что в нашей стране особое внимание уделяется развитию удаленных регионов: Сибири, Якутии, Дальнего Востока, Арктики, так как именно здесь добывается большая

часть ресурсов для экономики РФ и от их экономического развития в будущем зависит наше благосостояние и безопасность на длительную перспективу.

Вследствие того, что транспортная система является логистической основой для развития экономики, в последние 10 лет в удаленных регионах предприняты значительные усилия по восстановлению системы местных авиасообщений. Тем не менее, актуальными остаются ряд транспортно-логистических и социальных проблем, которые препятствуют активному развитию регионов Сибири, Дальнего востока, Арктической зоны:

- низкий уровень доступности авиатранспорта, безальтернативного для населения, высокая стоимость авиаперевозок;
- сложность организации быстрого спасения, эвакуации в случае стихийных бедствий, оказания срочной медицинской помощи жителям отдаленных населенных пунктов (>1000 км);
- невозможность или высокая стоимость доставки сверхтяжелых грузов (более 50 т) или малых срочных грузов в диапазоне от 1 до 300 кг.

Известно, что существующая транспортная система в отдаленных регионах с большими расстояниями между населенными пунктами, ориентирована на сообщение центров административных субъектов РФ разного уровня (центр района - центр региона - столица РФ). Однако, для местных жителей важными являются периферийные маршруты в ближайшие населенные пункты региона, которые позволяют обеспечить местные торговые связи, развитие бизнеса и производства, регионального туризма, посещение культурных, медицинских и образовательных учреждений.

Современные перспективы заключаются в реализации концепции нового технологического тренда – региональной и городской «аэромобильности», нацеленного на создание альтернативных наземному транспорту воздушных маршрутов по цене сопоставимых с услугами обычного такси, что в нашей стране наиболее актуально для регионов с недостаточным уровнем развития наземного транспорта.

Реализация концепции «аэромобильности» в ближайшем будущем будет опираться на следующие новые технологии, воплощенные в виде линейки качественно новых вертикально взлетающих летательных аппаратов (ЛА ВВП):

- электрификация силовой установки и бортовых систем, применение бесколлекторных электродвигателей с малым количеством трущихся и смазываемых деталей;
- внедрение беспилотной эксплуатации, технологии опционального пилотирования, встроеной системы диагностики состояния и обслуживания ЛА;
- использование небольших малообслуживаемых взлетно-посадочных площадок с автоматической системой охраны и обеспечения безопасности полетов;
- внедрение цифровой программной системы бронирования, оплаты и планирования маршрутов и полетов ЛА ВВП.

Применение данных технологий позволит многократно увеличить надежность и безопасность полетов ЛА ВВП, повысить их ресурс, уменьшить затраты на ремонт, затраты на горюче-смазочные материалы за счет применения дешевой электроэнергии, снизить затраты на оплату летного и технического персонала, снизить стоимость амортизации и владения ЛА, что в итоге позволит воплотить идею паритета доступности воздушного транспорта с наземным.

### **Некоторые особенности характеристик боковой устойчивости вертолёта с наклонённым рулевым винтом**

Рожков В.А.

НЦВ «Миль и Камов», п. Томилино, Россия

Поворот рулевого винта по продольной оси вертолёта является одним из способов решения следующих задач: увеличения грузоподъёмности вертолёта и обеспечения сдвига назад эксплуатационного диапазона положений центра тяжести вертолёта. Иногда может быть целесообразно наклонять рулевой винт совместно с килем. В работе оценивается влияние поворота рулевого винта и наклона киля на некоторые характеристики статической

и динамической боковой устойчивости транспортного вертолѐта с высокорасположенной хвостовой балкой.

При увеличении угла наклона рулевого винта влияние изменения угла скольжения на проекции сил, создаваемыми наклонѐнными рулевым винтом и килем, на поперечную ось вертолѐта имеет тенденцию к уменьшению. Обусловлено это двумя причинами, действующими противоположным образом: влияние собственно угла отклонения вектора тяги рулевого винта и изменение параметров винта для обеспечения необходимых запасов путевого управления.

Расстояние по вертикальной оси между центром давления киля и центром тяжести вертолѐта рассматриваемого типа меньше, чем расстояние от центра втулки рулевого винта до центра тяжести вертолѐта, при этом соответствующие расстояния по продольной оси близки. Поэтому с ростом угла наклона киля и рулевого винта киль в меньшей степени оказывает влияние на характер изменения поперечного момента вертолѐта от угла скольжения, чем рулевой винт.

На изменение боковых аэродинамических характеристик планера при переходе к более пикирующим углам атаки вследствие продольного момента от наклонѐнного РВ наибольшим образом влияет выход хвостовой балки и киля из области, затенѐнной планером. Характеристики движутся в сторону области статической устойчивости по углу скольжения.

По результатам моделирования движения вертолѐта получено, что наибольшее отношение амплитуд угловых скоростей поперечного и путевого движения имеет вертолѐт с наклонѐнным рулевым винтом и килем, затем идёт вертолѐт, у которого повѐрнут только винт, и лучшее отношение у вертолѐта с классическим рулевым винтом. При повороте РВ у вертолѐта рассматриваемого типа происходит уменьшение степени путевой статической устойчивости по углу скольжения, и менее выраженное изменение степени поперечной устойчивости, что приводит к уменьшению модуля коэффициента демпфирования и увеличению периода колебаний.

### **Исследование технологических параметров намотки металлокомпозитного баллона давления**

<sup>1</sup>Рыжова Т.М., <sup>2</sup>Кузьмин А.А.

<sup>1</sup>МАИ, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>АО «ЦПР», г. Сергиев Посад, Россия

Повышение весовой эффективности элементов летательных аппаратов является актуальной задачей при создании перспективных летательных аппаратов. Ёмкости давления, изготовленные с применением силового композитного слоя для восприятия внутреннего давления и тонкостенного металлического лайнера для обеспечения их герметичности (так называемые баллоны III типа), в отличие от баллонов, изготовленных из конструкционных материалов на основе только металлических сплавов (тип I), обладают значительно (до 2-3 раз) более низким весом.

В работе исследуется изотропный тонкостенный герметизирующий лайнер металлокомпозитного баллона, также являющийся неизвлекаемой технологической оснасткой, который должен оставаться неповреждѐнным как в процессе изготовления металлокомпозитного баллона, так и на этапе его эксплуатации. Проанализированы параметры процесса автоматизированной намотки, влияющие на характеристики материала и скорость изготовления баллонов, из которых наиболее важным является сила натяжения ленты наматываемого материала, приводящая к возникновению внешнего давления и возможной потере устойчивости лайнера. Разработан и приведѐн алгоритм определения технологических параметров намотки, исключаящих потерю устойчивости лайнера и даны рекомендации по выбору оптимальных параметров изготовления металлокомпозитных баков при помощи «мокрой» автоматизированной намотки.

Исходя из вышесказанного, решение задачи определения технологического параметра натяжения жгута армирующего материала по реальной несущей способности лайнера является актуальной задачей и даст возможность увеличения силы натяжения, что позволит

увеличить скорость намотки баллонов давления, повысить физико-механические свойства композитного материала силовой оболочки, снизить стоимость разработки новых изделий и отработки технологии их изготовления и, в итоге, повысить конкурентоспособность предприятия-изготовителя баллонов давления.

### **Обзор методов проектирования при ограничениях по флаттеру для несущих поверхностей летательного аппарата из композиционных материалов**

Рыманова А.Н., Гавва Л.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Демпфирование композитов повышает эффективность затухания колебательной энергии, предотвращает возникновение резонансных колебаний, которые индуцируют аэроупругую неустойчивость – флаттер конструкции. Композиционные материалы, обладая высокой жесткостью и прочностью, эффективно сопротивляются динамическим нагрузкам, вызывающим флаттер. Композиты следует использовать в конструктивных элементах летательных аппаратов (ЛА) с целью предотвращения флаттера. Применение композиционных материалов в конструкции несущих поверхностей ЛА требует тщательного анализа и оптимизации для достижения наилучших результатов.

Проанализированы различные подходы к постановке и решению задач проектирования при ограничениях по флаттеру для несущих поверхностей летательных аппаратов из композиционных материалов, рассмотренные в работах представителей ведущих зарубежных и отечественных научных школ за период с 2000 г. по настоящее время.

Проанализированы подходы к постановке и решению задач проектирования при ограничениях по флаттеру для конструктивно-анизотропных панелей летательных аппаратов из композиционных материалов. На данный момент в публикациях отечественных представителей тема практически не разработана.

В литературных источниках анализируются задачи проектирования несущих поверхностей из полимерных композиционных материалов. В обзоре дана классификация математических моделей, аналитических методов расчёта, численных методов расчёта, результатов экспериментальных исследований.

Рассмотрены особенности моделирования явлений динамической аэроупругости - флаттера на динамически подобных моделях (ДПМ) в аэродинамических трубах (АДТ) в трансзвуковом диапазоне чисел М. Даны рекомендации для выбора критериев подобия, выполнение которых необходимо при проектировании, изготовлении и испытании ДПМ в трансзвуковых АДТ для получения достоверных результатов эксперимента и переноса их на натурную конструкцию.

Изучена методика расчёта механических характеристик композитных материалов, используемая при расчёте безопасности от флаттера композитных несущих поверхностей с помощью полиномиального метода Ритца. Методика реализована в виде отдельного программного обеспечения, разработанного в программной среде «Wolfram Mathematica 8».

Проанализирована математическая модель для расчета на флаттер беспилотного летательного аппарата из композиционных материалов с двухбалочным хвостовым оперением. Математическая модель построена в программном комплексе Nastran. Упругая модель аппарата представлена совокупностью балок, соединенных через податливые узлы. Аэродинамическая модель построена с помощью метода дипольной решетки (DLM). Рассмотрены особенности конструкции исследуемого аппарата. Представлены расчеты безрулевых и рулевых форм флаттера и проведен анализ полученных результатов.

Рассмотрена методика комплексной оптимизации конструкции новых композитных крыльев самолетов с большим удлинением с учётом флаттера.

Широкое распространение конструктивно-анизотропных панелей из полимерных композиционных материалов в конструкциях самолетов приводит к необходимости развития уточнённых методов для оценки характеристик флаттера.

Представленный обзор даёт возможность оценить состояние вопроса очерчивает область дальнейших исследований. Необходимо разработать процесс проектирования и оптимизации

при ограничениях по флаттеру на основе уточнённой теории для конструктивно-анизотропных панелей летательных аппаратов из композиционных материалов.

### **Исследование стационарных маховских конфигураций с импульсным энергоподводом на прямом скачке**

Савелова К.Э., Лаптинская М.М., Чернышов М.В.

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

Исследование аэрогазодинамических характеристик воздухозаборных устройств является одним из важных разделов аэродинамики высокоскоростных летательных аппаратов, включая в себя анализ течения по тракту воздухозаборника, согласование его работы с типом двигателя, решение проблем интерференции входящего потока и выходящей из двигателя струи, управление процессом торможения потока и создания поверхности торможения.

Традиционно различают три типа сверхзвуковых воздухозаборников в зависимости от способа сжатия набегающего потока: с внешним, смешанным, внутренним сжатием. В данной работе рассматривается течение в воздухозаборнике с внутренним сжатием, где торможение реализуется полностью за плоскостью входа, во внутреннем канале. Поскольку при использовании воздухозаборников данного типа актуальна проблема регулирования и обеспечения режима набегающего потока, необходим полный анализ течений с нерегулярным (маховским) отражением скачков уплотнения (в нестационарной постановке задачи – ударных волн [1-2]).

Одна из первых приближенно-аналитических моделей плоского высокоскоростного течения с маховским отражением, позволяющих оценить форму и параметры всех образующихся газодинамических разрывов, изложена в работе [3]. Впоследствии различными учеными были опубликованы уточненные модели [4-5]. С развитием теории, учитывающей возможность детонационных превращений на различных скачках, были достигнуты новые результаты анализа маховского отражения [6-7], однако они не всегда напрямую применимы к практике работы геометрически сложных устройств. Необходим углубленный теоретический анализ стационарных маховских конфигураций скачков уплотнения с импульсным энергоподводом на главном (прямом) скачке и соответствующим изменением термодинамических свойств газа.

В работах [2, 8-9] отмечено, что скачкообразное увеличение температуры в высокоскоростном потоке горючей смеси газов, которое может инициировать горение или детонацию с соответствующим импульсным энерговыделением, в наибольшей степени происходит на главном скачке. Данное явление (и, в меньшей мере, изменение показателя адиабаты продуктов сгорания по сравнению с «сырой» смесью) приводит к изменению области существования маховского отражения в химически реагирующей среде [8]. Выделение энергии за главным скачком способствует маховскому отражению относительно слабых падающих скачков, которые в нереагирующем газе отражаются только регулярно.

### **Проектирование беспилотных летательных аппаратов применяемых в составе групп аппаратов**

Селин А.И., Туркин И.К.

МАИ, г. Москва, Россия

Применение беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в группах наиболее эффективно.

Рассматривая различные алгоритмы проектирования БЛА, прорабатывается возможность формирования облика аппарата, работающего в составе группы.

На стадии написания технического задания проводится оценка целевой задачи для комплекса и разрабатывается типовой сценарий применения. Задаются значения эффективности выполнения операции.

Количество аппаратов в группе определяется из условия минимальной стоимости комплекса при заданной эффективности выполнения задачи. Производится оценка вероятности выполнения задачи единичным аппаратом. На основе полученных данных

определяется тип полезного груза и его потребная масса. В первом приближении среднее квадратическое значение промаха задается на основе достижений техники.

Выбор носителя определяет его грузоподъемность, полезный объем, что в свою очередь диктует максимальные габаритные размеры и массы аппаратов. Определив тип носителя можно оценить расстояние, на которое он может подойти к цели с достаточно низкой вероятностью обнаружения. Это в свою очередь влечет в основе определения потребной дальности полета. Анализ траекторий движения групп определяет требования к скоростям полета на различных участках траектории и потребным перегрузкам. Так же в соответствии с полученными требованиями формируется облик бортового оборудования [1].

На базе предварительных изысканий формируются требования к БЛА и выбирается опорный облик изделия.

Стартовая масса является основным параметром предварительного проектирования. Полная масса аппарата определяется предварительно с помощью уравнения существования летательного аппарата [2] внося в него незначительные изменения.

При проектировании аппарата, использующего аэродинамический принцип создания управляющих сил и моментов, определяют проектные параметры, характеризующие проектируемый аппарат на основе различных соотношений и уравнений: уравнение весового и энергетического баланса, уравнение устойчивости и балансировки БЛА. Условие физической реализуемости аппарата есть удовлетворение вышеприведенным требованиям с учетом накладываемых ограничений как на параметры, так и на характеристики [3].

В процессе разработки производится проверка соответствия полученных результатов целевым параметрам. В результате несколько полученных обликов аппаратов сравнивают между собой для определения наиболее оптимального, при этом стоит учитывать, что для БЛА, работающего в группе основным показателем, является цена одной единицы изделия. В связи с этим целесообразным представляется выбор стоимости (С) как критерия качества (К), а эффективность операции (Woper) и массу БЛА ( $m_0$ ) как дисциплинирующее условие. Таким образом, задачей выбора рационального облика БЛА является определение параметров планера БЛА, силовой установки, целевой нагрузки при котором выполняются дисциплинирующее условие.

Литература:

1. К вопросу проектирования беспилотного летательного аппарата для решения разведывательных задач на море. Трохов Д.А., Туркин И.К. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, 2006.
2. Лукьянов О.Е., Золотов Д.В. Методологическое обеспечение подготовки проектантов и операторов беспилотных летательных аппаратов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2021. Т. 20, № 1. С. 14-28.
3. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Рэндал У. Биард, Тимоти У. МакЛэйн. Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015.

### **Исследование возможности определения изгибных и крутильной жесткостей лопасти несущего винта вертолета на базе вычислительного эксперимента с использованием метода конечного элемента**

Солодилов И.С., Русских С.В., Каргаев М.В.  
МАИ, г. Москва, Россия

Важность определения жесткостей лопасти несущего винта вертолета на этапе ее проектирования обусловлена необходимостью их использования при: построении резонансных диаграмм, расчете нагрузок на агрегаты несущей системы и оценке их ресурса, анализе безопасности от различных видов неустойчивости типа флаттер и оценке эффективности органов управления [1]. В отличие от этапа серийного производства на этапе проектирования лопасти, невозможно экспериментально определить жесткости разрабатываемой лопасти для оценки упомянутых характеристик. В таких случаях, традиционно, жесткости определяются путем расчета моментов инерций типовых сечений лопасти и их умножением на приведенные модули упругости [2].

В настоящей работе, в отличие от упомянутого традиционного подхода для определения жесткостей решается обратная задача. Исследована возможность определения изгибных и крутильной жесткостей лопасти, выполненной из композиционных материалов, на базе вычислительного эксперимента с использованием метода конечного элемента. Разработанная конечно-элементная модель лопасти в вычислительном комплексе MSC.Patran/Nastran с последним заданием пакетов композиционных материалов в подмодуле MSC.Laminate modeler с учетом их индивидуальных механических свойств, толщин и ориентации слоев, используется для имитации натурального эксперимента по определению изгибных и крутильной жесткостей. По разработанной методике к модели лопасти поочередно прикладываются перерезывающие силы и изгибающие моменты для расчета изгибных и крутильной жесткостей лопасти. Полученные таким образом координаты деформированной лопасти обрабатываются в соответствии с известными из сопротивления материалов зависимостями [3].

Для оценки достоверности получаемых результатов выполнена валидация. Рассчитанные предложенным способом жесткости лопасти несущего винта вертолета типа Ми-38 имеют хорошую сходимость с экспериментально полученными жесткостями.

1. 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.

2. Бондаренко В.С. Общие вопросы автоматизации проектирования лопасти несущего винта вертолета. Проблемы проектирования вертолетов народнохозяйственного применения: Тем. сб. науч. тр. – М.: МАИ, 1986. – С. 21–29.

3. Беляев Н.М. Сопротивление материалов: Учебник. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1976. – 608 с.

#### **Оценка качества воспроизведения акселерационных сигналов в зависимости от располагаемых ходов системы подвижности пилотажного стенда**

Сорокин С.А., Архангельский Ю.А., Десятник П.А., Зайчик Л.Е.

ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Стоимость систем подвижности кабины резко увеличивается с увеличением пределов ее перемещений. Поэтому вопрос о том, какое качество моделирования полета можно обеспечить при заданных ходах кабины или какими должны быть хода кабины стенда для достижения высокого качества, является одним из важнейших вопросов моделирования полета.

Изложена методика оценки качества моделирования полета в зависимости от располагаемых ходов системы подвижности кабины. Методика иллюстрируется на примере оценки качества моделирования взлетно-посадочных режимов полета в зависимости от ходов кабины стенда по высоте.

В статье рассматриваются два предельных по ходам кабины случая: (1) при моделировании штатных условий взлета и посадки (минимально необходимые хода кабины); (2) при моделировании нештатных условий, когда реализуются максимальные перемещения кабины по высоте (максимально необходимые хода кабины).

Для оценки качества моделирования в зависимости от ходов кабины достаточно знать (1) как качество моделирования полета зависит от алгоритмов управления движением кабины (АУДК), и (2) как хода кабины зависят от этих алгоритмов.

Минимально необходимые хода оценивались путем пропускания через АУДК записей перегрузок самолетов в штатных условиях взлета и посадки, что позволит определить зависимость ходов от величин частот среза высокочастотных фильтров ( $\omega_{ср}$ ), входящих в АУДК. Затем с помощью критерия, определяющего зависимость качества моделирования от  $\omega_{ср}$ , определялись зависимости качества моделирования от минимально необходимых ходов кабины по высоте.

Максимально необходимые хода оценивались расчетным путем, зная максимальные перегрузки самолета во внештатных условиях полетирования (для взлетно-посадочных режимов они не превышают 1.3 ед. пер.).

Анализ полученных результатов показал следующее:

- Перемещения стенда по высоте, необходимые для моделирования взлета и посадки в нестандартных условиях, в 2 раза больше перемещений кабины, необходимых для моделирования штатных условий.

- Высокое качество моделирования нормальной перегрузки на взлетно-посадочных режимах в общем случае можно обеспечить при ходах кабины по высоте не менее  $\pm 4$  метров.

- При ходах кабины по высоте от  $\pm 0.75$  до  $\pm 4$  метров можно обеспечить только среднее качество воспроизведения нормальных перегрузок.

- При ходах кабины меньше  $\pm 0.75$  метра результаты исследований управляемости самолета на взлетно-посадочных режимах практически не отличаются от результатов, получаемых на стендах с неподвижной кабиной.

## **Особенности проектирования беспилотного летательного аппарата мультироторного типа**

Суркова Е.В., Зульфугаров Т.З.

МАИ, г. Москва, Россия

Проектирование беспилотных летательных аппаратов для строительной отрасли имеет важное значение в современном мире. Эти автоматизированные системы имеют множество преимуществ в строительстве, так, например, повышение производительности и безопасности работников.

Одним из ключевых аспектов проектирования таких беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является их способность выполнять разнообразные задачи на стройплощадке. Это может включать в себя сканирование местности, создание 3D-карт для планирования и мониторинга стройки, а также транспортировку материалов и инструментов.

Ключевыми требованиями при разработке БПЛА для строительства являются:

**Надежность:** БПЛА должны быть стабильными и надежными в работе, чтобы минимизировать риски аварий и сбоев.

**Долгий срок службы:** учитывая инвестиции в эти системы, важно, чтобы они могли служить долгое время без необходимости частой замены.

**Эффективность:** БПЛА должны быть эффективными в выполнении задач, чтобы сэкономить время и ресурсы на стройке.

**Безопасность:** системы автоматизации в строительстве должны быть безопасными для окружающих и для самих БПЛА.

Важным аспектом также является разработка программного обеспечения для управления БПЛА и обработки данных, собранных во время их работы. Это включает в себя создание алгоритмов для автономной навигации и управления, а также анализа данных, полученных с датчиков на борту.

Беспилотные летательные аппараты представляют собой современное решение для оптимизации строительных процессов и повышения их эффективности, и разработка их систем требует комплексного подхода, включая механическое проектирование, программирование и тестирование.

В ходе исследования проводились:

- Исследование нормативно-правовых основ, предъявляемых к проектированию БПЛА в РФ.

- Анализ современного состояния используемых БПЛА в сфере строительства.

- Сравнение технико-экономических характеристик БПЛА.

- Проектирование БВС мультироторного типа.

Приведен сравнительный анализ технико-экономических характеристик бпла, таких как Yuneec H520, Mavic 2 enterprise dual и спроектированного. Рассматривались они по критериям оценки как: Вес (с батареей, без подвеса, кг), Максимальная скорость (м/с), Максимальная высота полета (над уровнем моря, м), Максимальное время полета (мин), Размеры (мм), Максимальный подъемный вес (кг), Цена, (включая всю полезную нагрузку, руб). Для проектирования БВС мультироторного типа были выбраны оптимальные компоненты, подходящие для строительной сферы и определенным критериям.

Результатом исследования является спроектированный БПЛА, который сможет вести мониторинг различных этапов стройки. За счёт полезной нагрузки существует возможность переоснастить его для выполнения иных задач. Стоит отметить, что спроектированный беспилотный летательный аппарат при эксплуатации не будет мешать работникам выполнять свою работу.

#### **К вопросу алгоритма проектирования узлов навески шасси гражданских самолётов**

Титов Е.И., Серебрянский С.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В данном докладе рассмотрен алгоритм проектирования узлов навески шасси, включающая в себя возможность уточнения методик расчётов прочности конструкции узлов навески шасси, а также увеличение автоматизации и цифровизации процесса проектирования узлов навески шасси [1, 2].

Предложенный алгоритм был рассмотрен как путь к решению задачи проектирования основной опоры шасси (ООШ) пассажирского самолёта [3]. В данной постановке задачи конструкция узлов навески шасси на планер должна выдерживать все расчётные для неё случаи нагружения, статические и циклические, без разрушения конструкции шасси, при этом выполнять требования пункта НЛГ 25.721, где говорится о недопущении повреждения топливной системы самолёта при грубой посадке [4, 5]. Так как типовая конструкция ООШ предполагает навеску шасси на бак-кессон крыла, для выполнения данного условия, конструкцию узлов навески ООШ проектируют таким образом, чтобы происходило локальное разрушение конструкции ООШ, что не даёт передать сверхрасчётнонагружение с конструкции ООШ на планер.

Существует два пути для реализации цели соответствия всем пунктам НЛГ 25: создание специальных кронштейнов навески ООШ, которые бы разрушались без передачи опасного нагружения на кессон, или создание специальных точек навески ООШ с включенными в конструкцию данных узлов «слабых звеньев», которые бы разрушались и разъединяли узел без передачи опасного нагружения. Данные кронштейны или слабые звенья должны отвечать следующим требованиям:

- передача расчётных нагрузок с конструкции ООШ на планер без разрушения. Расчётные нагрузки описаны в НЛГ 25.473;
- передача циклических эксплуатационных нагрузок без разрушения до окончания предполагаемого цикла работы. Требования к конструкции ООШ при действии циклических нагрузок описаны в НЛГ 25.571;
- разрушение слабых звеньев и безопасное отделение конструкции ООШ без повреждения кессона крыла при превышении расчётных нагрузок. Требования к конструкции ООШ под действием сверхрасчётных нагрузок описаны в НЛГ 25.721.

Подтверждение соответствия требованиям НЛГ 25 возможно как при помощи испытаний, так и с использованием математического моделирования, что также ускоряет и удешевляет сертификацию воздушного судна.

Литература:

1. Братухин А.Г., Серебрянский С.А., Стрелец Д.Ю. [и др.]. Цифровые технологии в жизненном цикле российской конкурентоспособной авиационной техники. Москва, МАИ (НИУ), 2020, 448 с. – ISBN 978-5-4316-0694-6.

2. Смагин, А. А. Выбор проектных решений для систем шасси самолета на базе предиктивной оценки характеристик и ограничений при движении по земле / А. А. Смагин, В. А. Клягин // Скоростной транспорт будущего: перспективы, проблемы, решения: тезисы конференции – Москва: Издательство "Перо", 2022. – С. 72-74. – EDN XСJ1WU.

3. Ю.В. Киселёв, Д.Ю. Киселёв. Шасси самолёта SuperJet: эл. учеб. Пособие – Эл.текстовые и граф. данные – Самара: изд. СГАО, 2014 – ISBN 978-5-7883-0856-2.

4. Титов, Е. И. Оценка необходимости моделирования грубых посадок самолета методом конечных элементов / Е. И. Титов, С. А. Серебрянский // Сборник тезисов докладов – Москва: ИД Академии имени Н. Е. Жуковского, 2023. – С. 277-279. – EDNUOICWV.

5. Титов, Е. И. К вопросу проектирования конструкции слабых звеньев навески основных опор шасси / Е. И. Титов, С. А. Серебрянский // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2023. – № 6(138). – DOI 10.18698/2308-6033-2023-6-2283.

### **Обзор методов проектирования конструктивно-анизотропных панелей несущих поверхностей летательных аппаратов из композиционных материалов с учётом особенностей деформирования**

Тху Аунг Хан, Гавва Л.М.  
МАИ, г. Москва, Россия

В процессе проектирования конструкции летательного аппарата (ЛА) его прочность обеспечивается совокупностью расчетных и экспериментальных исследований. Минимум массы конструкции планера является одним из основных критериев, определяющих совершенство конструкции самолета. При реализации проектных критериев для конструкции агрегатов планера из композиционных материалов (КМ) необходимо учитывать совокупность факторов, определяющих особенности деформирования композитов.

Вес крыла пассажирского самолета составляет примерно 10-12% расчетного взлетного веса самолета и 35-40% веса планера. Применение композиционных материалов в таком агрегате, как крыло, позволяет существенно снизить вес планера пассажирского самолета в целом. Вопросы проектирования композитных панелей силового кессона в местах стыка консольной части крыла из КМ с центропланом среднемагистрального пассажирского самолета и вопросы влияния параметров панелей на напряженно-деформированное состояние и массу конструкции являются актуальными. Разработка методики проектирования крыла из полимерных композиционных материалов, объединяющая в себе обоснование конструктивно-силовой схемы и отдельных силовых элементов, является актуальной задачей.

Рассмотрены различные методологии, применяемые при проектировании композитных панелей с учетом их несущей способности и анизотропии структуры. Научные исследования проводились как зарубежными, так и отечественными авторами с 2010 года и до настоящего момента.

Представлен обзор основных концепций, связанных со структурой кессона отъемной части крыла из композиционных материалов и способами соединения кессона крыла с центропланом.

Панели в конструкции подвергаются разнообразным нагрузкам и функционируют в условиях изгиба, растяжения, сжатия, сдвига и кручения, при комбинированном нагружении.

В целях проектирования при определении рациональных/оптимальных параметров, расчета на прочность и устойчивость несущей поверхности применяются в качестве примеров:

- разработка и апробация упрощенной методики расчета с оптимизацией при использовании критерия равнопрочности;
- комплексная методика расчетного проектирования силовых ответственных конструкций планера самолета, сочетающая в себе преимущества аналитического и конечно-элементного (КЭ) подходов;
- методика оптимизации авиаконструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе принципа формирования послойного критерия оценки безопасности конструкции.

Авторами рассмотрены различные виды подкреплений, нагружения панели и критерии оптимизации.

Данный обзор позволяет оценить текущее состояние проблемы и определить направления для дальнейших исследований. Необходимо разработать процедуры проектирования и оптимизации, направленные на снижение массы и соответствующие конструктивным ограничениям конструктивно-анизотропных панелей из композитных материалов с учётом особенностей деформирования. Эти процедуры основаны на новых расчетных моделях, которые являются уточненными.

## **Моделирование процесса вихреобразования на входе в дозвуковой воздухозаборник магистрального самолета**

Ушаков И.О., Серебрянский С.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время достаточно устойчиво сформировался облик пассажирского магистрального самолета, который представляет собой планер «Нормальной» аэродинамической схемы с двумя турбовентиляторными двигателями, которые размещены на пилонах под крылом. Один из главных недостатков такого размещения двигателей - незащищенность от попадания в газоздушный тракт посторонних предметов (ПП) с поверхности аэродромов [1].

Попадание мелкодисперсных ПП в газоздушный тракт и их последующее соударение с элементами конструкции мотогондолы и рабочего тела маршевой силовой установки может стать причиной значительных повреждений, а также дополнительных затрат на восстановление летной годности ВС [2]. Кроме того, незащищенность низкорасположенных двигателей является причиной формирования эксплуатационных ограничений при определении ожидаемых условий эксплуатации ВС [3].

Наиболее частой причиной повреждения низкорасположенных двигателей предметами с поверхности аэродрома является попадание ПП с поверхности аэродрома в составе вихревого жгута, формирующегося между входной кромкой воздухозаборника и поверхностью аэродрома [4, 5]. При этом для попадания ПП вихрь должен обладать определенной интенсивностью.

В работе рассматривается моделирование процесса вихреобразования между входной кромкой дозвукового воздухозаборника низкорасположенного турбовентиляторного двигателя с использованием CAE-технологии на основе программного пакета Ansys CFX.

Получены результаты расчетов, определяющие особенности вихреобразования при воздействии бокового ветра. Определена интенсивность вихреобразования, оценена возможность заброса ПП в газоздушный тракт. Определены исходные данные для проектирования струйной системы защиты двигателя от попадания ПП.

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. Осяев А.Т. Интегрированная логистическая поддержка жизненного цикла изделия авиационной техники с использованием цифровых платформ / А.Т. Осяев, С.А. Серебрянский // Скоростной транспорт будущего: перспективы, проблемы, решения: тезисы 1-ой Международной научно-технической конференции, Москва, 29 августа – 09 2022 года / Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – Москва: Издательство "Перо", 2022. – С. 190-192. – EDN ITNWZJ.
3. Моренко Р.В. Подход к формированию требований для регионального пассажирского самолёта / Р.В. Моренко // Гагаринские чтения - 2023: Сборник тезисов докладов XLIX Международной молодежной научной конференции, Москва, 11–14 апреля 2023 года. – Москва: Издательство "Перо", 2023. – С. 45. – EDN ZCHTAG.
4. Николаева А.А. Подход к выбору компоновки воздухозаборника сверхзвукового пассажирского самолета / А.А. Николаева, С.А. Серебрянский // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2022. – № 5(125). – DOI 10.18698/2308-6033-2022-5-2176. – EDN CLXZIA.
5. Комов А.А. Расчетные исследования влияния компоновки силовой установки в составе воздушного судна на вихревое течение / А.А. Комов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2005. – № 90. – С. 123-128. – EDN JXKYAD.

## **Разработка адаптивного закона управления, основанного на принципах приближенного динамического программирования**

Цхай Р.А., Тюменцев Ю.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Современные достижения в авиации и технике стимулировали разработку более совершенных, с технической точки зрения, летательных аппаратов (ЛА). Это привело к повышению требований при проектировании систем управления ЛА. Современная система управления должна обладать наилучшими показателями в широком диапазоне эксплуатации воздушного судна, включая возможные неисправности и отказы. Классические методы построения систем управления не в состоянии выполнять поставленные задачи на должном уровне. В последнее время появились перспективные методы, которые соответствуют необходимым требованиям. Одним из таких методов является приближенное динамическое программирование (ДП).

Приближенное ДП появилось в конце прошлого столетия в связи с необходимостью преодоления “проклятия размерности”, которое возникает в классическом методе ДП. Пол Вербос решил эту проблему [1] введением в систему “критика”, который аппроксимирует критерий оптимальности задачи ДП. Аппроксимация производится с использованием нейронных сетей прямого распространения. Составной частью этого подхода является метод адаптивного критика (Adaptive Critic Design, ACD), успешно применяемый для формирования адаптивных оптимальных законов управления динамическими системами, включая ЛА.

В настоящей работе рассматривается разновидность ACD “Single network adaptive critic” (SNAC) [2]. Особенностью данного подхода является использование единственной нейронной сети, что уменьшает время и упрощает процедуру обучения, не теряя при этом преимуществ других разновидностей ACD.

Рассматриваемый подход к синтезу системы управления может быть успешно применен к нелинейным системам и должен справляться с различными неопределенностями, которые могут возникнуть на различных этапах разработки и эксплуатации ЛА.

Экспериментальные исследования, выполненные на пилотажном стенде, а также математическое моделирование показали преимущество предлагаемого подхода по сравнению с классическими методами синтеза системы управления как в обычных задачах пилотирования и отработки заданного сигнала, так и в условиях возникновения неопределенностей в динамике объекта управления.

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).

Литература:

1. Werbos P.J. A menu of designs for reinforcement learning over time. In: Neural Networks for Control, MIT Press, 1990.

2. Padhi R. et al. A single network adaptive critic (SNAC) architecture for optimal control synthesis for a class of nonlinear systems, Neural Networks, vol. 19, Dec. 2006.

## **Flight Dynamics and Control Integration into the UAV Digital Twin**

Чжао Инин

МАИ, г. Москва, Россия

A Digital Twin is an integrated multiscale, multi-discipline, multi-physics simulation of a system that uses the best available physical models, sensor updates, fleet history to mirror the whole life of the physical object or process.[1] The origins of concept about twin in aerospace industry can date back to the Apollo missions, that a same vehicle is built on the ground and available flight data are used to mirror the actual conditions to assist the astronauts in orbit.[2]

Up to now, Digital Twin have been applied in production lifecycle management in Aerospace field. Dassault and Northrop Grummen have designed and optimized their aircraft with the technology of Digital Twin to reduce the cost and development cycle. Lockheed Martin applied it

in the manufacture of F-35 fighter in order to give the feedback of production data in real time which could reduce the production cycle about 22%.

The health and life span of each fighter will be one of the important indicators to care about. In the past, non-destructive or other testing technology would be used at fixed period to find the deformation and damage of structure. However, it can only be detected after damage, and also leads to high maintenance costs and time cost which decrease the Mission Capable Rates that nearly 70% of the total ownership cost of F-35 is spent on O&S.

Now the application of Digital Twin changes the status quo that each aircraft will have its unique virtual twin when fielding troops. By integrating aerodynamics, finite element, material and damage physical model, real-time detection of current operating state is realized based on sensor data, and future state including the next failure point is accurately predicted. An Airframe Digital Twin of F-15C shows in Picture 1.2 was once established and according to research by USA air force Research Laboratory, the largest benefit was due to improved maintenance planning, estimating a potential reduction of up to 50 times less maintenance costs.[3] Modifications also will be reduced only to individual aircraft that are necessary instead of the whole fleet.

The significance of Digital Twin is also reflected in service life prediction, self-perception independent decision-making, etc. Therefore, a project about the Airframe Digital Twin of a demonstration UAV is going to be realized to complete the technical identification and divided into 5 modules according to the area of discipline. This paper presents as a part of the UAV Digital Twin, how the flight control module coordinate with other modules and integrate to the UAV Digital Twin. The component of the UAV Digital Twin is introduced firstly. Then the data transmission and calculation of those parameters that cannot be measured by sensors onboard such as the angle of attack and the angle of sideslip is presented. Finally, the test run of the UAV Digital Twin is executed based on the HIL simulation system which take the place of the actual flight test.

References:

1. Shafto M. Modeling, Simulation, Information Technology and Processing Roadmap. Washington, DC, USA: NASA[J]. 2012.
2. Rosen R, Von Wichert G, Lo G, et al. About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing[J]. Ifac-papersonline, 2015, 48(3): 567-572.
3. Kraft E M. The air force digital thread/digital twin-life cycle integration and use of computational and experimental knowledge[C]//54th AIAA aerospace sciences meeting. 2016: 0897.

## **Имитационное моделирование адаптивного автономного гидропривода**

Чулков М.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Одной из задач при повышении степени электрификации системы управления самолета является создание эффективных и конкурентоспособных автономных рулевых приводов, энергопитание которых обеспечивается силовым электрическим током. Основная причина задержки внедрения автономных приводов – значительные тепловыделения по сравнению с приводами, имеющими централизованное гидропитание. Известны такие способы повышения КПД автономных рулевых приводов, как применение объемного регулирования скорости выходного звена (электрогидростатические приводы с реверсивным электродвигателем, [1]) и комбинированного регулирования скорости [2, 3, 4].

В данной работе предлагается для уменьшения потерь мощности, переходящих в тепло, задействовать принцип адаптивности привода под нагрузку, заключающийся в том, что электроприводной насос генерирует гидравлическую мощность только для преодоления фактической аэродинамической нагрузки, действующей на выходное звено привода. Также в структуру привода параллельно золотниковому распределителю второго каскада усиления включен перепускной клапан для снижения сопротивления в линии слива из гидроцилиндра при помогающих нагрузках на его шток и, соответственно, уменьшения тепловых потерь на дресселирование жидкости.

Производится имитационное моделирование автономного гидропривода с данной архитектурой. Моделируется двухкаскадный золотниковый гидрораспределитель прямого

действия с электромеханическим преобразователем типа «линейный электродвигатель». Приведены результаты моделирования, включающие в себя определение нагрева рабочей жидкости для архитектур автономного привода с адаптивностью и без нее.

Литература:

1. Шумилов И.С. Рулевые приводы с автономным гидропитанием (АРП) для магистральных самолётов. // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 8. С. 139-161

2. Селиванов А.М. Автономный электрогидравлический рулевой привод с комбинированным регулированием скорости выходного звена. // Вестник МАИ, Т. 17. N 3. С. 37-41

3. Алексеенков А.С. Исследование характеристик и рабочих процессов автономного электрогидравлического рулевого привода с комбинированным регулированием скорости. // Современные проблемы науки и образования. 2014. N 2.

4. Алексеенков А.С., Найденов А.В., Селиванов А.М. Оценка области дроссельного регулирования в приводе с комбинированным регулированием скорости. / Известия ТулГУ. Технические науки. 2011. Вып. 5. Ч. 1. С. 299-303

### **Исследование применения метода дипольной решетки и CFD подхода на статическом аэроупругом анализе для крыла с большим удлинением**

Чэнь Лэй

МАИ, г. Москва, Россия

Крылья с большим удлинением часто используются в самолетах низкой скорости благодаря их хорошим аэродинамическим характеристикам, которые способствуют уменьшению индуктивного сопротивления. Аэродинамические характеристики являются ключевым фактором, определяющим их продолжительность, особенно для беспилотных летательных аппаратов на солнечной энергии. Низкие характеристики жесткости крыльев таких самолетов часто приводят к сложным аэроупругим проблемам, таким как флаттер, дивергенция и изменения характеристик динамики полета, вызванные деформацией крыла [1].

С тех пор как Теодорсен опубликовал нестационарную аэродинамическую модель, названную по своему имени в 1930-х годах, его аэродинамическая модель, основанная на частотной области, широко использовалась в аэроупругом анализе. В 1969 году Альбано и Роден предложили метод дипольной решетки, который в последующие полвека совершенствовался и был интегрирован в программу расчетов NASTRAN как один из наиболее универсальных методов трехмерного дозвукового аэроупругого анализа. С улучшением вычислительной мощности электронных вычислительных машин, особенно с появлением суперкомпьютеров, для решения таких задач постепенно стали применяться методы взаимодействия жидкости со структурами, основанные на вычислительной гидродинамике и вычислительной структурной механике [2]. Применяя метод полной связи, можно получить структурный отклик в любой момент времени в поле потока с любым числом Маха, но это требует чрезвычайно высоких вычислительных ресурсов. Следовательно, для решения проблем аэроупругости необходимо применять соответствующие методы для различных условий.

В данной работе используются два метода для проведения статического аэроупругого анализа для модели крыла большого удлинения. Первый — это метод дипольной решетки, основанный на интерполяции бесконечными пластинчатыми сплайнами, а второй — метод взаимодействия жидкости со структурой, основанный на вычислительной гидродинамике. Для упрощения процесса расчета в модели крыла использованы металлические пластины с большими удлинениями. Результаты показывают, что, хотя эти два метода требуют разных вычислительных ресурсов, можно получить приемлемые результаты деформации модели.

Литература:

1. Чэнь Лэй, Стрелец Д.Ю. Оптимизация конструкции крыла БПЛА на солнечной энергии с учетом статической аэроупругости с помощью метода DOE // Авиация и космонавтика. Тезисы 21-ой Международной конференции. Москва, 2022. С. 76-77.

2. 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.

## **Влияние профиля мягкого крыла на стропной поддержке на безопасность полета**

Швед Ю.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Системы с мягким двухболочковым крылом на стропной поддержке как правило используют для создания избыточного давления в полости крыла воздухозаборник в носике профиля. Соответственно, с потерей давления набегающего потока перед воздухозаборником происходит коллапс крыла или его ненаполнение.

Можно выделить три основных режима обтекания воздухозаборника мягкого крыла:

1. Поперечное обтекание.
2. Обтекание на рабочих углах атаки.
3. Обтекание на малых и отрицательных углах атаки.

Поперечное обтекание происходит в момент наполнения купола планирующего парашюта в воздухе или парaplана на земле. В этом режиме основными проблемами является перекрытие или смятие воздухозаборника деформированным носиком профиля, а также неравномерное наполнение консолей крыла, что при большой скорости и большом удлинении приводит к авторотации наполнившейся консоли, забеганию ее на недонаполненную консоль и скручиванию строп. Скрутка строп приводит к фиксации искаженной формы крыла и отказу системы.

Основными способами борьбы с таким отказом на парашютах в настоящее время является применение переразмеренного воздухозаборника, начинающегося от первого ряда строп и захватывающего всю нижнюю и переднюю части носика профиля, а также ограничение удлинения крыла.

Возможными направлениями поиска решения данной проблемы является перенос воздухозаборника в пространство между рядами строп (при условии модификации или отказа от слайдера) в углублении профиля, создающем устойчивый вихрь в районе воздухозаборника, а также ограничение зоны воздухозабора центропланом.

В парaplанерном крыле целесообразно размещать воздухозаборник также в углублении профиля за точкой разделения потока на верхнее и нижнее течение при максимальном рабочем угле атаки. Образование вихря в углублении перед воздухозаборником выравнивает поле давлений в этой зоне и позволяет наклонить зев воздухозаборника, улучшая наполнение при поперечном обтекании без ущерба внутреннему давлению в крыле на рабочих углах атаки. В последнем случае для поддержания формы воздухозаборника хорошо себя зарекомендовали упругие корды (например, нитиноловые), заправленные в кромку нервюры.

На безопасность полета во втором режиме влияют в первую очередь моментные характеристики наполненного крыла. Профили с сильно задним смещением точки приложения подъемной силы на больших и особенно малых углах атаки приводит к интенсивному клевку из положения наполнения. На большой скорости расправившееся сзади, на большом угле атаки крыло может совершить настолько глубокий клевок, что влетит в пилота и сделает не только полет, но и ввод в действие спасательного парашюта невозможным.

Противодействовать этой опасности может применение профилей со смещенным вперед на малых углах атаки центром давления, а также профилей, имеющих зоны отрыва потока с нижней поверхности на малых и отрицательных углах атаки (что уменьшает степень разрежения под крылом и тормозит его).

Для третьего режима характерна нестабильная форма профиля из-за потери давления воздухозаборником при выходе мягкого крыла на малые и отрицательные углы атаки.

Пассивное противодействие этому режиму выражается в выборе места и формы воздухозаборника, а также такой формы профиля, чтобы подворот происходил на минимальной протяженности.

Активное противодействие проявляется в недопущении выхода крыла на опасные углы атаки, это возможно при сохранении формы автостабильного профиля и двухрядной (однорядной с управлением вторым рядом) схеме стропления.

### **Метод автоматической ориентации беспилотного воздушного судна на основе термодинамических и гравитационных функций для парения в атмосфере земли**

Шилов М.С., Ежов А.Д., Гритчин Д.М., Полетаев А.О., Киселев В.П.

МАИ, г. Москва, Россия

Автоматическая ориентация и управление беспилотным воздушным судном в пространстве необходима для преимущественного использования восходящих потоков воздушных масс в атмосфере земли в качестве источника энергии и выбора наиболее эффективного маршрута следования. Такой способ управления позволит существенно снизить затраты бортовых источников питания и, повысить продолжительность автономного полёта. БПЛА с таким алгоритмом управления могут решать различные задачи, такие как патрулирование и ведение общего наблюдения за территориями по произвольному маршруту, производить ретрансляцию сигналов и повышать эффективную дальность беспроводных систем связи. Проводить геодезические, поисковые и разведывательные операции на большие расстояния.

В гравитационном поле движение воздушных масс возникает в результате различной плотности, которая возникает из-за неравномерности полей температуры и влажности потока и окружающей его воздушной массы [2]. Так как тепловые Солнечные лучи проходят сквозь воздух и нагревают только землю, механизм термика основан на конвекции между атмосферой и землёй. Нагреваемые от земной поверхности объемы воздуха поднимаются вверх, а охлажденные опускаются вниз. Таким образом имеет место свободная конвекция в ограниченном пространстве – между поверхностью земли и облаком. Неоднородность плотности, обусловленная термическим расширением газа, вызывает силы Архимеда. Во многих работах выделяется влияние числа Рэля на образование конвекции [1], [3]. При этом выбор характерного размера является вариативным – например, высота образования облака. Стоит отметить, что как было показано в [4] образование термика коррелирует с относительной влажностью, что объясняется её падением с увеличением температуры.

Основой алгоритма коррекции траектории является алгоритм поиска термиков. Поскольку термик коррелирует сразу с несколькими измеряемыми величинами: числом Рэля, температурой, относительной влажностью, содержанием пыли и напряженностью электрического поля, целесообразно сформировать комплексную функцию, характеризующую термик. Форма данной функции термика может быть различной. Как вариант предлагается произведение корреляций первых производных по времени между всеми измеряемыми величинами. В таком случае, чувствительности данной функции может хватить для обнаружения термика на достаточном расстоянии. При этом здесь под достаточным расстоянием понимается такое, за которое беспилотник успеет перестроить траекторию и залететь в термик.

1. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М., Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1972 г., 392 стр.

2. Muhachev G.A., Shcukin V.K. Termodinamika i teploperedacha. (Thermodynamic and heat transfer) Moscow, Vishaya shkola, 1991, 480 p.

3. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике: Учебник для авиационных специальностей вузов / В.С. Авдеевский, Б.М. Галицейский, Г.А. Глебов и др.; Под общ. ред. В.С. Авдеевского, В.К. Кошкина. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 528 с.: ил.

4. Oliver Predelli, Ronald Niederhagen, Humidity, the Dominating Force of Thermal Updrafts, preprint to Technical Soaring (TS), May 16, 2019.

## **Численное моделирование аэродинамических характеристик несущих винтов винтокрылого летательного аппарата поперечной схемы на базе нелинейной вихревой модели**

Шомов А.И., Макеев П.В., Игнаткин Ю.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Винтокрылые летательные аппараты (ВКЛА) поперечной схемы используют два несущих винта (НВ), установленных слева и справа от фюзеляжа на специальных фермах или крыле. Положительная аэродинамическая интерференция НВ и обтекаемый фюзеляж делает схему привлекательной с точки зрения аэродинамики. К недостаткам обычно относят тяжелую конструкцию силовой фермы (крыла с подкосами), на которые устанавливаются НВ, потери на обдувку крыла на висении и сопротивление подкосов в полете. Последние ВКЛА поперечной схемы разрабатывались и строились в 1960-х годах (Ми-12, Ка-22). Однако, в свете появления современных конструкционных материалов и технологий, а также возможности применения этой схемы для создания скоростных ВКЛА, вопросы аэродинамики винтов поперечной схемы представляют достаточный интерес. При этом результаты исследования аэродинамики такой конфигурации НВ на базе современных методов вычислительной аэрогидродинамики фактически отсутствуют.

В работе представлены результаты исследований аэродинамических характеристик винтов (без учета фюзеляжа) ВКЛА поперечной схемы на режимах висения и горизонтального полета. Используется нелинейная лапастная вихревая модель винта, разработанная на кафедре "Проектирование вертолетов" МАИ [1]. Рассмотрена конфигурация из двух четырехлопастных НВ с учетом интерференции, без перекрытия винтов (расстояние между осями вращения НВ:  $Z = 2,1R$ ), с двумя вариантами направления вращения наступающих лопастей: навстречу друг другу – "бабочка" и друг от друга – "брас". Получены формы нелинейного вихревого следа, суммарные и распределенные аэродинамические характеристики НВ. Расчеты выполнены с учетом реализации пропульсивной силы, необходимой для преодоления сопротивления планера, без учета возможности разгрузки НВ крылом. Полученные результаты сопоставлены с аэродинамическими характеристиками изолированного одиночного НВ на аналогичных режимах работы при равных величинах силы тяги. Установлено, что НВ, работающий в комбинации с другим НВ за счет положительной интерференции требует для создания аналогичной силы тяги меньше мощности чем изолированный НВ. Наибольший эффект снижения мощности достигает 9-17% в диапазоне режимов полета  $\mu = 0,1...0,25$ . Комбинация "брас" при этом имеет до 3% лучший эффект, чем "бабочка". С увеличением скорости полета указанный положительный эффект снижается. Исследованы эпюры скоростей в следе за НВ. Показана необходимость учета влияния вихревого следа комбинации НВ с учетом интерференции винтов на скос потока в районе оперения ЛА. Продемонстрирована перспективность применения нелинейной вихревой модели для решения задач аэродинамики несущей системы вертолетов поперечной схемы.

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

## **Повышение точности идентификации модели движения ЛА при реализации алгоритмов СУ, базирующихся на принципе обратной динамики**

Щербаков А.И., Ефремов А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Работа посвящена исследованию влияния шумовой составляющей сигналов на точность определения параметров линеаризованной модели движения самолета в режиме реального времени, использующихся для построения адаптивного регулятора, основанного на базе принципа обратной динамики. Путем математического моделирования было выявлено, что при учете воздействия шумовой составляющей сигналов, поступающих в блок онлайн-идентификации, появляется существенное искажение коэффициентов математической

модели движения ЛА, и они не могут быть использованы для синтеза регулятора на базе принципа обратной динамики.

Для устранения негативных эффектов, возникающих по причине влияния шумовой составляющей, рассматривается введение фильтров сигналов, поступающих в блок идентификации, и их влияние на точность определения коэффициентов системы уравнений движения ЛА, используемых для синтеза адаптивного регулятора. Показано, что даже использование фильтров, представляющих собой звено первого порядка, позволяет существенно уменьшить негативный эффект от влияния шумов сигналов на процесс идентификации в режиме онлайн. Проведены исследования влияния постоянной времени фильтров на точность идентификации.

Для оценки эффективности предложенного решения проведена серия экспериментов на пилотажном стенде. Показано, что при воздействии шумов измерительных устройств существенно ухудшается точность пилотирования, а введение фильтров сигналов позволяет обеспечить желаемую точность идентификации параметров математической модели движения объекта управления и сохранить высокую точность выполнения задачи.

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).

Литература:

1. C. Miller, Nonlinear Dynamic Inversion Baseline Control Law: Architecture and Performance Predictions, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, 2011, pp. 6467–6492.
2. Динамика полета: Учебник для студентов высших учебных заведений / А.В. Ефремов, В.Ф. Захарченко, В.Н. Овчаренко и др.; под ред. Г.С. Бюшгенса. — М.: Машиностроение, 2011.
3. Joseph Gaudio. Adaptive Flight Control in the Presence of Limits on Magnitude and Rate. IEEE Access. 2022.

## 2. Авиационные, ракетные двигатели и энергетические установки

### Исследование работы полной модели ВВТ и определение математической модели для проведения зональной оптимизации

Агапов А.В., Ионов А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В ходе исследований было выявлено, что исключение из расчета геометрии проставочных и опорных элементов и корпусов при анализе работы модуля ВВТ приводит к расхождению результатов математического моделирования с результатами, полученными при испытаниях натурального двигателя. Отсюда появилась необходимость провести математическое моделирование полной модели модуля ВВТ с учетом геометрии, которая также участвует в процессе теплообмена, для верификации методики расчета.

В данном расчете все элементы вносились отдельно. Соответственно сетка тоже строилась на каждом элементе отдельно, на твердых телах строилась структурированная гексаэдрическая сетка, а на «жидких объемах» тетраэдрическая сетка с функцией Inflation и с измельчением сетки в местах контакта с другими элементами. Суммарная расчетная сетка состоит из порядка 45 млн. узлов и 87 млн. элементов. Граничные условия остались такими же, как и в предыдущем расчете. Был изменен материал трубок с Inkonel 718 на ХН50ВМТЮБ-ВИ (был добавлен новый материал с необходимыми для расчета физико-химическими и механическими характеристиками) и, так как было изменено количество доменов (в данном расчете 22 домена), были добавлены новые интерфейсы между телами с включенной функцией теплопередачи.

Анализируя результаты математического моделирования, можно сделать вывод, что исключение из расчета проставочных элементов и корпусов дает значительное расхождение с экспериментальными данными. В расчете с учетом всех элементов, участвующих в теплообмене, температура внутреннего теплоносителя на выходе из ВВТ равна примерно 730 К, что хорошо соотносится с данными, полученными при испытаниях. Так же видно, что проставочные элементы значительно влияют на характер течения охлаждающего теплоносителя, видны вихревые зоны и зоны срывов потока, а также потери давления во внешнем контуре. Потери давления охлаждаемого потока в первом и втором расчете примерно равны и соотносятся с результатами, полученными при испытаниях.

Для дальнейших исследований было решено упростить расчетную модель и использовать метод зональной оптимизации, так как полная модель модуля ВВТ является сложной и требует много времени и вычислительных мощностей. Метод зональной оптимизации заключается в том, что оптимизация конструкции будет производиться не на всем модуле ВВТ, а лишь на его части, результаты которой можно масштабировать на весь модуль. В данном случае, оптимизацию можно проводить либо на одной трубке, либо на одном ряде трубок. Вариант с одной трубкой оказался непригодным, так как при газодинамическом расчете одной трубки тепловой поток через стенку трубки расходился с результатами, полученными при расчете целого модуля ВВТ. Газодинамический расчет одного ряда трубок показал, что тепловой поток через стенку трубки сходится с результатами, полученными при расчете целого модуля ВВТ, поэтому дальнейшие исследования проводились на одном ряде трубок ВВТ.

1) А.В. Агапов, А.В. Ионов, А.В. Стародумов Применение селективного лазерного сплавления при модернизации и производстве трубчатого воздухо-воздушного теплообменника // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2023. – Т. 27, № 1(99). – С. 116-129.

2) А.В. Агапов, А.В. Ионов Исследование эффективности теплообменных аппаратов различных конструкций, спроектированных для производства с помощью селективного лазерного спекания // Авиация и космонавтика: тезисы 21ой международной конференции, – Москва: Издательство "Перо", 2022. – С. 85-86.

## Подходы к построению математической модели системы силовая установка – летательный аппарат

Алпатов И.В.

МАИ, г. Москва, Россия

На сегодняшний день существуют различные подходы к математическому моделированию силовых установок, наиболее распространенными из которых являются термодинамические модели СУ [1]. Математические модели СУ развиваются в направлении увеличения точности, надежности их работы и на расширение области применимости. Особое внимание уделяется созданию математических моделей, которые позволяют выполнять расчет характеристик СУ и ее узлов в нестационарных и переходных режимах работы, а также на режимах запуска, авторотации и аварийных режимах.

При моделировании работы СУ в системе летательного аппарата (ЛА) классическим подходом является использование таблично заданных параметров силовой установки, которые передаются в модель летательного аппарата. Это позволяет моделировать полет ЛА с учетом внешних условий и изменения режима работы двигателя [2], проводить параметрические исследования и поиск оптимальных параметров СУ в системе ЛА [3].

Альтернативным подходом является интеграция математических моделей СУ и ЛА, которая позволяет улучшить оценку их взаимного влияния на работу друг друга в ходе выполнения полетных задач. Этот междисциплинарный подход также позволяет повысить точность расчетов, использовать его при решении задачи оптимизации СУ ЛА [4] и оценивать надежность ЛА в случае отказа компонентов СУ. Такие подходы как представление математических моделей в виде графов позволяют построить имитационную математическую модель ЛА, СУ, их системы управления и комплексно оценивать их совместную работу.

В исследовании проводится сравнение результатов выполнения полетного плана ЛА при моделировании с применением разных подходов: при использовании таблично заданной ВСХ ТВД и при использовании интегрированной в модель ЛА, модели СУ.

Сравнение ВСХ ТВД полученных при использовании различных подходов показало, что различия составили менее 3% и обусловлены особенностями расчета термодинамических параметров газовой смеси и реализацией ограничений на приведенную частоту вращения в САУ.

Сравнение результатов моделирования полетных циклов показало что в случае использования таблично заданных функций их дискретизация влияет на особенности переходных процессов за счет качества интерполяции ВСХ, влияние на интегральные показатели, такие как расход топлива за полетный цикл составило менее 1%. Наибольшее влияние качество взаимодействия моделей СУ и ЛА оказывает на работу САУ, при переходе от табличной функции к интегрированной модели было получено влияние значение управляющих воздействий до 20%.

Литература:

1. Хорева, Е. А. Ординарные математические модели в задачах расчета параметров авиационных ГТД /Е. А. Хорева, Ю. А. Эзрохи//.– 2017. – № 1.–С. 1-14.–DOI 10.24108/rdopt.0117.0000059.
2. Кузьмичев В. С., Ткаченко А. Ю., Рыбаков В. Н., Моделирование полёта летательного аппарата в задачах оптимизации параметров рабочего процесса газотурбинных двигателей // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. №1-2.
3. Зиненков Ю.В., Луковников А.В., Агавердыев С.В. Определение оптимальных параметров и схемы двигателя для ударного беспилотного летательного аппарата // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2022. Т. 21, № 3. С. 23-35. DOI: 10.18287/2541-7533-2022-21-3-23-35

## Оценка изменения повреждаемости рабочих лопаток турбины высокого давления при использовании предварительного подогрева турбины ТРДД перед запуском

Аметов А.А.

МГТУ ГА, г. Москва, Россия

Увеличение ресурса ТРДД, как правило, связано с серьезными конструктивными изменениями на стадии проектирования и производства. В то же время, технология предварительного подогрева турбины ТРДД перед запуском позволит уменьшить суммарную степень повреждаемости рабочей лопатки (РЛ) турбины высокого давления (ТВД) без внесения конструктивных изменений. Суть рассматриваемой технологии предварительного подогрева заключается в подаче горячего воздуха от наземного источника (моторного подогревателя) на турбину со стороны сопла двигателя [1]. Воздух, проходя через выходное устройство и турбину низкого давления, поступает на ТВД, нагревая РЛ. Время, необходимое для прогрева лопатки определено эмпирически путем постановки эксперимента на натурном объекте. Объектом исследования является ТРДД типа CFM-56. Для теоретической оценки изменения повреждаемости РЛ ТВД при использовании предварительного подогрева турбины ТРДД перед запуском необходимо оценить термические напряжения на РЛ путем моделирования напряженно-деформированного состояния в двух случаях: штатный режим запуска и режим запуска после подогрева. Входными параметрами при моделировании напряженно-деформированного состояния деталей ступени ТВД являются значения полных давлений и температур на входе и выходе, полученные из термогазодинамического расчета двигателя по среднему диаметру на режиме “Земной малый газ” (ЗМГ). Результатом теплового расчета является эпюра распределения термических напряжений по высоте пера [2]. Также учитываются напряжение изгиба и напряжение растяжения. Все эти нагрузки определяют действующее напряжение на пере РЛ. Результатом прочностного расчета является эпюра распределения действующих напряжений по высоте пера РЛ ТВД, позволяющая определить опасное сечение, для которого проводится расчет допустимой повреждаемости. В рамках принятой расчетной модели суммарная степень повреждаемости  $\Sigma П$  РЛ определяется как сумма повреждаемости по количеству циклов запусков АД и повреждаемости по статической прочности лопатки на режиме “Взлетный”, “Крейсерский” (КР) и режиме “ЗМГ” соответственно [3]. Повреждаемость по количеству запусков определяется как отношение предельно допустимых циклов нагружения к расчетному значению количества циклов до разрушения. Определив перепад температур  $\Delta T$  между наружной стороной лопатки и внутренней стороной (охлаждаемой полостью) в случаях при запуске с подогревом и без него, возможно определить (используя уравнение Коффина-Менсона [4]) количество циклов до разрушения в обоих случаях, а также оценить изменение повреждаемости по количеству запусков, которая в свою очередь влияет на суммарную степень повреждаемости  $\Sigma П$ . Выполненные оценки позволяют утверждать о снижении суммарной степени повреждаемости  $\Sigma П$  РЛ ТВД и увеличении допустимой работы на режиме “КР” порядка 9%, что позволяет предложить увеличить интервалы их осмотров в эксплуатации и говорить о возможности корректировки ресурса ТВД в сторону увеличения.

1. Бадамшин И.Х. Способ повышения ресурса газотурбинного двигателя по числу запусков: патент РФ № 2627490; опубл. 08.08.2017.
2. Ахмедзянов А. М., Алексеев Ю. С., Гумеров Х. С. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей, М.: Машиностроение, 2000. 453 с.
3. Вьюнов С.А., Гусев Ю.И., Карпов А.В. Конструкция и проектирование газотурбинных двигателей. Москва 1989. 324 с.
4. Ануров Ю.М., Федорченко Д.Г. Основы обеспечения прочностной надёжности авиационных двигателей и силовых установок. СПбГПУ, 2004. 390 с.

## **Оценка качества измерительных процессов при проведении исследовательских испытаний сложных технических систем**

Архицкая К.А., Ермакова М.О., Монахова В.П.

МАИ, г. Москва, Россия

Сложная техническая система имеет ряд отличительных признаков, такие как: наличие большого количества взаимосвязанных и взаимодействующих между собой подсистем и элементов; сложность выполняемой системой целевой функции; взаимодействие с внешней средой и функционирование в условиях воздействия случайных факторов. Исследование современных сложных технических систем предполагает исследование закономерностей функционирования как всей системы в целом, так и ее подсистем и элементов; на первый план выдвигаются вопросы, связанные с влиянием внешней среды, со структурой системы, взаимодействием элементов системы, режимами функционирования [1].

Оценку качества испытаний – эффективность испытаний – необходимо проводить как в целом, так и для отдельных этапов исследовательских испытаний сложных технических систем – планирование, проведение и регистрация параметров, обработка и анализ результатов испытаний, принятие решений.

В настоящей работе рассматривается модель процесса исследовательских испытаний таких СТС как электроракетные двигатели; приводится декомпозиция и оптимизация процесса исследовательских испытаний. Особое внимание уделяется вопросу разработки показателей качества и критериев оценки измерительных процессов для этапа «Обработка и анализ результатов испытаний».

В работе приводятся данные испытаний лабораторного образца высокочастотного ионного двигателя (ВЧИД) на научном стенде лаборатории «Исследование характеристик электроракетных двигателей» кафедры № 208 «Электроракетные двигатели, энергетические и энергофизические установки» МАИ (НИУ), предназначенного для проведения испытаний по определению основных интегральных параметров двигателя. Измеряемые при исследовательских испытаниях параметры ВЧИД: расход РТ в РК, расход РТ через КН, ток ионного пучка, напряжение на ЭЭ, ток в цепи УЭ, напряжение на УЭ, Падающая мощность от ВЧГ, отраженная мощность.

Обработка результатов испытаний проводилась в соответствии с требованиями стандартов ИСО 5725; рассчитывались такие характеристики, как точность, правильность, прецизионность, повторяемость и воспроизводимость измерений [2].

Литература:

1. Яковлев Е.А. Испытания космических электроракетных двигательных установок: Учебник для вузов. – М: Машиностроение, 1981. – 208 стр.;
2. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002. «ТОЧНОСТЬ (ПРАВИЛЬНОСТЬ И ПРЕЦИЗИОННОСТЬ) МЕТОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ». Часть 1. Основные положения и определения;
3. ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002. «ТОЧНОСТЬ (ПРАВИЛЬНОСТЬ И ПРЕЦИЗИОННОСТЬ) МЕТОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ». Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений;
4. ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002. «ТОЧНОСТЬ (ПРАВИЛЬНОСТЬ И ПРЕЦИЗИОННОСТЬ) МЕТОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ». Часть 3. Промежуточные показатели прецизионности стандартного метода измерений;
5. ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002. «ТОЧНОСТЬ (ПРАВИЛЬНОСТЬ И ПРЕЦИЗИОННОСТЬ) МЕТОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ». Часть 4. Основные методы определения правильности стандартного метода измерений;
6. ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002. «ТОЧНОСТЬ (ПРАВИЛЬНОСТЬ И ПРЕЦИЗИОННОСТЬ) МЕТОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ». Часть 5. Альтернативные методы определения прецизионности стандартного метода измерений;
7. ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002. «ТОЧНОСТЬ (ПРАВИЛЬНОСТЬ И ПРЕЦИЗИОННОСТЬ) МЕТОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ». Часть 6. Использование значений точности на практике.

## Исследование трибологических характеристик покрытий NiCrBSi, полученных электродуговым напылением

<sup>1</sup>Астафьев Е.А., <sup>1</sup>Тимофеев Н.С., <sup>1</sup>Николаев И.А., <sup>1</sup>Лесневский Л.Н., <sup>2</sup>Сарбучев С.Н.  
<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>ООО «ТЕРМАЛ-СПРЕЙ-ТЕК», г. Москва, Россия

В настоящей работе рассматривается возможность применения электродугового напыления (металлизации) покрытий NiCrBSi и проведение анализа их трибологических характеристик. Сплавы на никелевой основе NiCrBSi относятся к самофлюсующимся, при этом под процессом самофлюсования понимается процесс самопроизвольного удаления оксидов с поверхности частиц покрытия при их напылении и оплавлении. Эти сплавы применяются для формирования функциональных покрытий, обладающих высоким сопротивлением к абразивному изнашиванию, стойкостью к коррозии в сочетании с хорошими антифрикционными свойствами [1]. Формирующиеся в сплаве бориды и карбиды обеспечивают высокую стойкость при испытании на износ использования хрома, как легирующего элемента, в покрытии объясняет его высокие антикоррозионное поведение, а кремний обеспечивает стабильность образующейся при напылении в атмосфере оксидной окалины (отсутствие микротрещин, сколов) и защищает поверхность покрытий от дальнейшей деградации, вызванной атмосферой при различных высокотемпературных применениях.

Напыление образцов для трибологических испытаний проводилось методом электродугового напыления (металлизации) [2] из проволоки сплава NiCrBSi с целью оценить возможность этого метода в получении износостойких покрытий различного назначения. Электродуговая металлизация была одним из первых изобретенных методов термического напыления покрытий и остается одним из самых распространенных, простых и дешевых видов напыления высококачественных покрытий.

В этом методе напыляемый материал подается в виде двух проволок в распылитель, в котором между этими двумя проволоками зажигается электрическая дуга, и расплавленный материал с концов проволок ускоряется высокоскоростным потоком газа по направлению к подложке и формирует покрытие.

Испытания трибологических характеристик, основными из которых являются величина износа (износостойкость) и коэффициент трения, проводились на машине трения 3308 в режиме фреттинга на образцах по схеме шар (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ШХ15) – плоскость (покрытие NiCrBSi).

Параметры испытаний: нормальная нагрузка P=5Н, 10Н, 15Н; перемещение D=5 мкм, 15 мкм, 25 мкм, 35 мкм и 45 мкм; количество циклов N<sub>ц</sub> = 10<sup>4</sup>. В результате были построены графики изменения коэффициента трения по числу циклов. Определены величины объемного износа W (мм<sup>3</sup>) образцов, и дана оценка характеристикам зафиксированных петель «гистерезиса» покрытий (зависимость силы трения F от перемещения D). На этом предварительном этапе исследования нанесенные покрытия не подвергались оплавлению.

Эти результаты позволили получить новую информацию по изнашиванию сплавов NiCrBSi в виде карт фреттинга, построить зависимости между величиной объемного износа и суммарной энергией диссипации на различных режимах трибологических испытаний и разработать рекомендации по практическому применению полученных результатов исследований.

1. A.M. Miguel, J.M. Guilemany, S. Viscaino Tribology study of NiCrBSi coating obtained by different processes // Tribology International, 2003.V. 36.pp.181-187

2. С.Н. Сарбучев Электродуговые покрытия для машиностроения // Ритм машиностроения, 2021. № 6. С.16-17

## Оценка эмиссии CO<sub>2</sub> дальнего административного самолета и обеспечение требований перспективных норм ИКАО

Аюгина А.В., Челебян О.Г., Олишевский Д.А.  
АО «Туполев», г. Москва, Россия

Снижение воздействия эмиссии вредных веществ самолётов на окружающую среду является важной задачей при разработке перспективных схем летательных аппаратов. В

настоящее время разрабатывают дальнемагистральные самолеты нового поколения и их двигатели. Одновременно Комитет по охране окружающей среды от воздействия авиации (САЕР) ИКАО ужесточает экологические нормы для воздушных судов для достижения к 2050 году углеродной нейтральности.

Целью работы является оценка эмиссии углекислого газа (CO<sub>2</sub>) дальнего административного самолёта и обеспечение требований перспективных норм ИКАО.

Эмиссия CO<sub>2</sub> для самолёта зависит от аэродинамического качества планера и эмиссии самих двигателей, в частности от удельного расхода топлива, который зависит от степени двухконтурности и полноты сгорания топлива в камере сгорания. Выбросы CO<sub>2</sub> пропорциональны расходу топлива (на 1 кг топлива приходится 3.4 кг CO<sub>2</sub>), что можно оценить по стехиометрической формуле горения углеводородного топлива.

Для оценки уровня эмиссии CO<sub>2</sub> применялась методика, описанная в Стандарте ИКАО [1].

В качестве исходных данных использовались следующие параметры самолёта и двигателя: максимальная взлётная масса, крейсерская скорость полёта, расход топлива на крейсерском режиме, поперечное и продольное сечение фюзеляжа.

Расчет оценочных показателей эмиссии CO<sub>2</sub> производился для трёх масс самолёта с учётом выработки топлива и соответственным уменьшением массы брутто. Полученные оценочные показатели сравнивались с максимально допустимыми значениями эмиссии CO<sub>2</sub>. В работе [2] представлен прогноз ужесточения экологических стандартов до 2028 года и скорректированы максимально допустимые значения в соответствии с ним.

Анализ полученных результатов показал, что рассматриваемый дальний административный самолёт имеет запас оценочных показателей по эмиссии CO<sub>2</sub> для прогнозов на 2028 год – 5%. Таким образом, данный самолёт будет соответствовать перспективным нормам ИКАО до 2028 года, что обеспечит его беспрепятственную эксплуатацию на международных авиалиниях.

Дальнейшее усовершенствование показателей эмиссии CO<sub>2</sub> самолёта и двигателей возможно с применением новых перспективных технологий, таких как: улучшение аэродинамической схемы самолёта, интеграция двигателей и планера, использование экологически чистого авиационного топлива, так называемого SAF – топлива (Sustainable aviation fuel), использование электрических и гибридных двигателей.

1. Охрана окружающей среды. Приложение 16 ИКАО. Т. III. Эмиссия CO<sub>2</sub> самолетов. 1-е изд. ИКАО, 2017.

2. Independent Expert Integrated Technology Goals Assessment and Review for Engines and Aircraft. Doc 10127. ИКАО, 2019.

### **Математическая модель глубокого зондирования поверхности металлических деталей летательных аппаратов с целью выявления структуры их кристаллической решетки и дефектов**

Батанов М.С., Гривизирский П.А.  
МАИ, г. Москва, Россия

Разработан метод и выведены формулы для расчета объемных диаграмм упругого рассеяния лазерного луча (фотонов) на однослойных и многослойных, изотропных и анизотропных статистически неровных поверхностях. Объяснена дифракция частиц (частности фотонов) на кристаллах без привлечения идеи де Бройля о волновых свойствах материальных частиц. Под частицами в данной работе подразумеваются любые частицы (фермионы и бозоны), размеры (или длина волны) которых много меньше характерных размеров неровностей отражающей поверхности (кирхгофовское приближение), и отражение которых происходит по законам геометрической оптики.

Получены объемные диаграммы рассеяния частиц и фотонов на изотропных и неизотропных многослойных неровных поверхностях. Полученные результаты могут быть использованы для выявления структуры и дефектов металлической поверхности деталей летательных аппаратов.

Помимо решения вышеуказанных практических задач, эта статья направлена на внесение рациональной ясности в ментальную 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 данной гипотезы Луи де Бройля о волнах материи. Более того, в этой работе высказано предположение, что явление дифракции частиц на твердых периодических структурах может проявляться не только в микромире, но и в макромире при аналогичных условиях.

### **Моделирование работы плазмохимического генератора водорода с помощью программ термодинамического равновесия**

<sup>1</sup>Биндиман А.П., <sup>1</sup>Боровик И.Н., <sup>1</sup>Тюльков К.В., <sup>2</sup>Ребров С.Г.

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>АО ГНЦ «Центр Келдыша», г. Москва, Россия

Определение свойств и состава реагирующей смеси газов, необходимое для определения эффективности ракетных двигателей и химических реакторов, требует задания термодинамических свойств отдельных веществ [1]. Для их определения часто используются не напрямую квантовохимические методы, а предвычисленные базы данных термодинамических свойств и основанные на них модели химической кинетики, которые затем используются как для ноль- и одномерных расчётов, так и для выполнения двух- и трёхмерного численного моделирования. Однако большая часть широко используемых баз данных и моделей кинетики разрабатывалась для нужд химической промышленности и потому зачастую не была верифицирована для характерных для двигателей летательных аппаратов температур и давлений.

В данной работе рассматривается применимость различных баз данных и способов вычисления термодинамически равновесного состава применительно к плазмохимическому генератору водорода.

Для термодинамического расчёта равновесного пиролиза метана в плазматроне использовались как существующие программные решения (TERA[2], CHEMKIN[3], Cantera[4]), так и собственная реализация известных алгоритмов [5], а существующие базы данных термодинамических свойств отдельных веществ были модифицированы в соответствии с более точными данными там, где они доступны ([6], ИВТАНТЕРМО[7]), и было проведено сравнение получаемых результатов. Также в ходе работы получен скорректированный набор термодинамических свойств, подходящий к бескислородному подмеханизму C1-C2, например, GRI-Mech 3.0.

При внесении поправочного коэффициента на неидеальность происходящих процессов результаты хорошо совпадают как с результатами трёхмерного численного моделирования, так и с экспериментом.

Литература:

1. Гидаспов, В. Ю., Северина, Н.С. Некоторые задачи физической газовой динамики. — М.: Издательство МАИ, 2016. — 196 с.
2. Белов, Г. В., Трусов, Б. Г. Термодинамическое моделирование химически реагирующих систем. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013.
3. Kee R.J., Rupley F.M. Miller J.A. Chemkin-II: A Fortran Chemical Kinetics Package for the Analysis of Gas-Phase Chemical Kinetics. — Sandia National Laboratories, 1989
4. Cantera: An Object-oriented Software Toolkit for Chemical Kinetics, Thermodynamics, and Transport Processes / David G. Goodwin, Harry K. Moffat, Ingmar Schoegl et al. — <https://www.cantera.org>. — 2022. — Version 2.6.0.
5. Smith, W. R, Wissan R. W. Chemical Reaction Equilibrium Analysis: Theory and Algorithms — John Wiley, 1983.
6. Термодинамические свойства отдельных веществ / Под ред. Л. В. Гурвича. — М: Наука, 1978. — Т. 1.
7. Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2015620634 РФ. База данных по термодинамическим свойствам индивидуальных веществ ИВТАНТЕРМО: N 2015620138: заявл. 27.02.2015: опубл. 20.05.2015 / Г. В. Белов, Н. М. Аристова, Г. А. Бергман, А. В. Гусаров, А. Н. Куликов, Е. Л. Осина; заявитель и правообладатель ФБУН ОИВТ РАН.

## Автоматизация систем обеспечения надежности и качества ДЛА

Бурова А.Ю., Кочетков Н.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

Результаты анализа причин недавних аварий воздушных судов и авиационных катастроф в очередной раз актуализировали проблему надежности двигателей летательных аппаратов (ДЛА). Своевременная оценка надежности ДЛА по результатам автоматического контроля ее качества на соответствие требованиям стандартов, применяемых в гражданской авиации, может и должна обеспечивать безопасность полёта [1-2]. Поэтому, чтобы повышать безопасность полёта, решаются задачи автоматизации систем обеспечения надежности и качества ДЛА и разработки программных моделей для контроля качества ДЛА. При автоматизации систем обеспечения надежности и качества ДЛА такие модели можно и должно реализовывать на элементной базе микроэлектроники, используя методы и средства цифровой обработки результатов измерений и контроля. Наиболее востребованными до сих пор остаются цифровые сигнальные процессоры и программируемые логические интегральные схемы [3].

Специфические особенности автоматизации систем обеспечения надежности и качества ДЛА обусловлены необходимостью соответствия требований стандартов, применяемых в гражданской авиации требованиям, которые устанавливают нормативно-правовые документы. В настоящее время эта автоматизация проводится в условиях цифровой трансформации авиационной отрасли российской экономики и в рамках выполнения отечественной программы импортозамещения ДЛА из-за ужесточения антироссийских санкций. А конкурентопригодность и конкурентоспособность ДЛА российских производителей обеспечивает гармонизация российских и международных стандартов менеджмента качества.

Характерными тенденциями автоматизации систем обеспечения надежности и качества ДЛА в Российской Федерации постепенно становятся:

- автоматизация контроля качества ДЛА в условиях серийного производства и автоматизация контроля качества её работы в разных условиях эксплуатации;
- модернизация отечественных ДЛА в рамках выполнения российской программы их импортозамещения;
- роботизация систем контроля качества ДЛА в условиях серийного производства.

При проведении стендовых испытаний в условиях серийного производства и при выполнении контрольных замеров её рабочих параметров в процессе эксплуатации можно и должно создавать и развивать базы данных о результатах измерения значений контролируемых параметров ДЛА разных серий для сравнительной оценки её качества и надежности. Разработка и применение многомерных программных моделей вероятностного распределения измеренных значений рабочих параметров позволяют контролировать её техническое состояние сразу по нескольким параметрам. Совокупное использование таких моделей и баз данных способствует прогнозированию нежелательных изменений технического состояния ДЛА даже в маловероятных, но возможных изменениях условий эксплуатации. При контроле надежности и качества ДЛА на этапе изготовления продукции следует использовать опытно-статистические методы. Поэтому наиболее успешным может и должен быть контроль надежности и качества ДЛА методами компьютерного моделирования.

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», 2013. – 256 с.
2. Бурова А.Ю. Сертификация авиационной техники. Изд. 2-е, перераб. и доп.– М.: ЛЕНАНД, 2019. – 300 с.
3. Бурова А.Ю. Методы и устройства, позволяющие уменьшать число операций умножения в алгоритмах цифровой обработки сигналов: Монография — М.: Издательство «Доброе слово и Ко», 2023. — 162 с.

## **Виртуализация испытаний электронных компонентов ДЛА программно-аппаратными средствами АСОНИКА**

Бурова А.Ю., Подымова О.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Наиболее важными причинами аварий таких летательных аппаратов, как среднемагистральные и дальнемагистральные самолеты наряду с так называемым человеческим фактором все чаще становятся повреждения и (или) неисправность их двигателей. Поэтому одним из дополнительных резервов повышения безопасности полета можно и должно считать виртуальные испытания двигателей летательных аппаратов (ДЛА) [1-2]. Для контроля надежности и качества таких двигателей можно и должно применять информационные технологии автоматизации систем обеспечения надежности и качества аппаратуры (АСОНИКА) [3-4]. Термином «АСОНИКА» описывается автоматизированная система обеспечения надежности и качества аппаратуры. Информационные технологии АСОНИКА являются перспективным средством расчета тепловых, аэродинамических, механических и электрических процессов в проектируемой аппаратуре.

Система АСОНИКА является интегрированным средством, позволяющим также сделать полный расчет показателей надежности электронных компонентов ДЛА. С помощью этой системы можно решить задачу диагностирования авиационной электронной аппаратуры (АЭА) ДЛА и контроля режимов их работы.

Перспективным направлением применения системы АСОНИКА в гражданской авиации можно и должно считать компьютерное моделирование и виртуальные испытания надежности и качества работы АЭА силовых установок как беспилотных летательных аппаратов, так и аэрокосмических, поскольку в настоящее время уже получена лицензия Роскосмоса. Совершенствование программно-аппаратного инструментария виртуальных испытаний ДЛА станет дальнейшим развитием информационных технологий АСОНИКА.

В 2023 г. на совещании по вопросам развития беспилотной авиации Президент Российской Федерации заявил, что необходимо ускорить использование цифровых двойников вместо так называемых натуральных испытаний, поскольку перспективы гражданской авиации связаны с цифровой трансформацией российской экономики и нужно шире внедрять в авиадвигателестроение цифровые платформы, созданные с применением российского программного обеспечения. Такие платформы не только повысят уровень безопасности полета и позволят ускорить использование «цифровых двойников» вместо так называемых натуральных испытаний.

Применение систем АСОНИКА при разработке, производстве и эксплуатации ДЛА может и сможет уменьшить риск возникновения нештатных режимов их работы из-за воздействия внешних дестабилизирующих факторов. Снижение такого риска обеспечивают информационные технологии АСОНИКА. Эти технологии позволяют оценивать надежность и качество работы АЭА ДЛА путем ее виртуальных испытаний.

Внедрение системы АСОНИКА на промышленных предприятиях авиационной и аэрокосмической отраслей российской экономики может и должно обеспечить создание высоконадежных отечественных ДЛА с минимально допустимыми затратами и в минимально возможные сроки.

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», 2013. – 256 с.
2. Бурова А.Ю. Сертификация авиационной техники. Изд. 2-е, перераб. и доп.– М.: ЛЕНАНД, 2019. – 300 с.
3. Кофанов Ю.Н. Автоматизированная система АСОНИКА в проектировании радиоэлектронных средств: Учебно-методическое пособие. – М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2012. – 58 с., ил. 46.
4. Шалумов А. С., Шалумов М. А. Опыт применения автоматизированной системы АСОНИКА в промышленности Российской Федерации: монография. – Владимир: Владимирский филиал РАНХиГС, 2017. – 422 с.

## **Конденсаторная модель формирования поверхностных зарядов в диэлектрических элементах конструкции космического аппарата**

Валиуллин В.В., Надирадзе А.Б.

МАИ, г. Москва, Россия

На высоких околоземных орбитах космический аппарат (КА) функционирует в среде магнитосферной плазмы. Горячие потоки магнитосферной плазмы приводят к электризации КА. Возникает дифференциальное зарядение различных по электрофизическим свойствам элементов поверхности конструкции КА. Разность электрических потенциалов, образующаяся при данном явлении на элементах конструкции, приводит к инициированию электростатических разрядов (ЭСР) или, другими словами, первичных разрядов. Низкотемпературная плазма в данных условиях может приводить к вторичным дуговым разрядам между электродами панели солнечной батареи (БС) КА. Источниками низкотемпературной плазмы могут являться ЭСР на поверхности конструкции КА, либо струя электроракетного двигателя (ЭРД). Вторичные дуговые разряды приводят к неисправностям работы БС, что подтверждается статистикой отказов КА, в которых треть отказов связана с этими причинами [1]. На сегодняшний день изучение формирования поверхностных зарядов в диэлектрических элементах конструкции при электризации КА является актуальной научной задачей.

В данной работе разработана конденсаторная модель формирования заряженных областей в диэлектрике после циклических воздействий радиационной зарядки и релаксации накопленного заряда под действием низкотемпературной плазмы ЭРД. Разработка конденсаторной модели обусловлена образованием двух характерных заряженных слоев при радиационной зарядке диэлектрика: отрицательного слоя первичных электронов в объеме диэлектрика и положительного слоя дырок на глубине нескольких атомных слоев от поверхности. Глубина проникновения первичных электронов в диэлектрик достигает нескольких десятков микрон. Генерация зарядов положительного слоя дырок происходит из-за явления вторичной эмиссии электронов с поверхности диэлектрика как при радиационной зарядке, так и при релаксации накопленного заряда ионами низкотемпературной плазмы.

Циклические воздействия радиационной зарядки и релаксации накопленного заряда низкотемпературной плазмой ЭРД позволят оценить формирование зарядов и стойкость диэлектрика при электризации. Показано, что характеристики радиационной зарядки диэлектрика до и после циклических воздействий незначительно отличаются. Это может происходить вследствие сохранения заряженных частиц на ловушках диэлектрика.

1. Cho M., Kitamura T., Ose T., Masui H., Toyoda K. Statistical Number of Primary Discharges Required for Solar Array Secondary-Arc Tests // Journal of Spacecraft and Rockets. 2009. V. 46. N 2. P 438-448. DOI: 10.2514/1.37798

2. 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.

## **Разработка конструкции крепления композитной лопатки статора газотурбинного двигателя со стенками камеры сгорания**

Венков М.А., Тимофеев П.А.

АО «Композит», г. Мытищи, Россия

Газотурбинная техника в своем развитии достигла уровня, когда модификация и улучшение конструкции, при неизменности существующих материалов, уже не приводит к улучшению технических характеристик двигательных установок (ДУ). Охлаждение металлических лопаток ротора и статора турбины требует существенного расхода воздуха, снижает КПД ДУ в целом, усложняет конструкцию, требует дополнительных устройств и воздуховодов, ухудшает массовые показатели летательного аппарата в целом. Применение не требующих охлаждения конструкционных высокотемпературных неметаллических материалов один из эффективных вариантов развития газотурбинной техники.

Изготовление элементов конструкции статора по типу лопаток из керамоматричного композиционного материала (ККМ), имеющего более высокий уровень рабочих температур по сравнению с традиционно используемыми металлическими жаропрочными сплавами, показывает возможность отказа от системы охлаждения лопаток статора турбины и повышения температуры газа на выходе из камеры сгорания. При этом замена в металлической конструкции материала лопатки на ККМ требует решения ряда актуальных задач:

- разработка конструкции, состоящей из материалов, существенно отличающихся по физико-механическим свойствам (пластичность, температурный коэффициент линейного расширения);
- обеспечение надежного соединения разнородных деталей в единую конструкцию при условии соблюдения требуемых герметичности, прочности и газодинамики конструкции;
- обеспечение финишной чистовой механической обработки элементов соплового аппарата из ККМ.

В качестве объекта исследования выбран турбореактивный двухконтурный двигатель с форсажной камерой АЛ-31Ф разработки ОКБ им. А. М. Люльки. В данной работе рассмотрена возможность замены материала лопатки статора турбины высокого давления (ТВД)

с жаропрочного никелевого сплава на ККМ с сохранением геометрии конструкции двигателя. При этом главным вопросом исследования является оценка возможности замены металла на керамику известных, заданных свойств без изменения конструкции двигателя, в целом.

С помощью газодинамического расчёта обтекания профиля лопатки определены механические и тепловые нагрузки, изучено напряженно-деформированное состояние конструкции методом конечных элементов

и предложены схемы исполнения статорной части ТВД с использованием неметаллических материалов.

Работы подобного плана должны лечь в основу изменения концепции проектирования и создания ДУ нового поколения с заметно более высокими техническими характеристиками.

Литература:

1. Тимофеев П.А. и др. Современные подходы к изготовлению керамоматричных композиционных материалов для длительной эксплуатации при температурах выше 1000 °С. Обзор мирового опыта и возможности АО «Композит»

2. Лебедева Ю. Е. и др. Получение прототипа неохлаждаемой сопловой лопатки турбины из керамического композиционного материала

3. Старцев Н.И., Фалалеев С.В. Конструкция узлов авиационных двигателей: турбина и камера сгорания: электронный курс лекций

4. Каримбаев Т. Д. и др. Прогнозирование прочностных характеристик конструкционных керамических композиционных материалов типа C/SiC и SiC/SiC с учетом структуры армирования

5. Мезенцев М.А. и др. Исследования и применение конструкционных керамических и композиционных материалов в авиационном двигателестроении

### **Разработка средств автоматизации системы управления градуировочным стендом**

Версин А.А., Биндиман А.П.

МАИ, г. Москва, Россия

Программа автоматизации системы управления процессом градуировки приемников полного и статического давлений связана с учетом высоких требований к точности измерения скорости газового потока (относительная скорость газового потока –  $\lambda$  определяется с погрешностью  $\pm 0,01$ ) и параметров линейного и углового позиционирования приемного отверстия приемника полного давления с погрешность  $\pm 1$  мм и  $\pm 0,5^\circ$  соответственно.

Для решения поставленной задачи были проведены исследовательские работы по выбору средств измерений скорости газового потока в рабочей камере градуировочного стенда и разработано координатное устройство позволяющее устанавливать приемник полного и статического давлений в газовом потоке в заданном положении для его градуировки.

Для подтверждения параметров эталонной струи газового потока были использованы средства измерений утвержденного типа:

- вихревой расходомер ЭМИС-Вихрь 200;
- датчик дифференциального давления Корунд-ДДИ;
- датчик абсолютного давления Корунд-ДА;
- термогигрометр ИВА-6АР.

Точность позиционирования приемника полного и статического давлений, который проходит градуировку, при линейных и угловых перемещениях в эталонной струе газа подтверждается использованием:

- измерителем линейных перемещений Renishaw, модель RGH25F, погрешность измерений  $\pm(0,2+5L)$ , мкм;
- преобразователь угловых перемещений, модель JH58A, погрешность  $\pm 150''$ .

Для получения эталонной струи автоматизированная система сбора и обработки информации получает данные от средств измерений, передает их на специально разработанное программное обеспечение, которое проводит расчеты и выдает данные о текущей скорости газового потока. Если заданная скорость отличается от действительной, то программное обеспечение передает данные на автоматизированную систему управления, которая регулирует подачу воздушного потока в градуировочный стенд.

Для позиционирования приемника полного и статического давлений используется аналогичная система управления.

#### **Анализ проблемных вопросов проведения аттестации испытательного оборудования для испытания изделий авиационной техники**

Волков М.И.

МАИ, г. Москва, Россия

На сегодняшний день неотъемлемой частью любого производства является подтверждение соответствия продукции заявленным характеристикам, по средством воспроизведения условий испытаний. Применяемое для этих целей испытательное оборудование (далее – ИО) может быть как типовым, так и уникальным в своем роде, объединяет его необходимость подтверждения характеристик ИО и возможности воспроизведения условий испытаний, с допускаемыми отклонениями и установление пригодности использования ИО в соответствии с его назначением посредством аттестации. Аттестация подразделяется на первичную, периодическую и повторную и может проводиться в соответствии с ГОСТ Р 8.568-2017 и/или ГОСТ РВ 0008-002-2013 в зависимости от сферы государственного регулирования, в рамках которой будут проводиться испытания, или вне ее.

Целью данной работы является осуществление анализа процедуры организации и проведения испытаний изделий авиационной техники и описание ключевых факторов, влияющих на недостатки, связанные с:

- отнесением оборудования к испытательному;
- возникающие вследствие недостаточного опыта выполнения работ и знаний существующих норм в рассматриваемой области;
- обусловленные техническими причинами;
- обусловленные организационными причинами;
- связанные с необходимостью переработки действующих документов по аттестации. [1]

В докладе приведен анализ необходимого и достаточного набора критериев позволяющих усовершенствовать процедуру проведения испытаний изделий авиационной техники на этапах разработки ТЗ, программы и методики аттестации, а также во время проведения самой аттестации.

Результаты исследований в виде разработанных теоретических и методологических основ могут быть в дальнейшем использованы и применены на предприятиях отечественной авиационной отрасли.

### **Двухмерное моделирование керосино-воздушного детонационного двигателя с непрерывной спиновой детонацией при различных условиях впрыска компонентов**

Воронин А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Целью работы является поиск оптимального соотношения параметров впрыска компонентов в камеру детонационного двигателя, работающего на керосин-кислороде. Результаты исследователей показывают, что формирование, развитие и распространение детонационных волн связаны с параметрами впрыска компонентов [1,2,3]. В исследовании для моделирования используется CFD-программа ANSYS FLUENT. На основе материалов предыдущих исследований создана расчетная область, в виде прямоугольника разм.  $0,3 \times 0,1$  м. На границах заданы периодические ГУ. На вход задана пользовательская функция подачи. Для исследования влияния температуры впрыска и площади впрыска на распространения детонационных волн с применением одноступенчатой керосино-воздушной реакции моделируются 2 набора температур (600К,800К) и соотношения площадей (1,0.4). Для имитации форсунок вход делится на 24 части, площадь считается равной 0,4. Под 1 понимается, что вся нижняя граница впрыскивает смесь. При температуре на входе 600К в 1 опыте наблюдается скачок давления около 10МПа и рост температуры. При маленькой площади впрыска скачок давления меньше. Во 2 опыте волна нестабильна из-за появления продуктов горения в слое подачи. Впрыскиваемая свежая смесь не может выдуть продукты горения в области с форсунками в отличии от 1 опыта. Кроме того, детонационная волна во 2 опыте теряет правильную форму, в отличии от 1. Влево распространяется ряд ударных фронтов, что свидетельствует о недостаточной силе детонации, что приводит к снижению скорости детонации. Продукты горения, находящиеся в слое свежей смеси, нарушают подачу смеси, что вызывает появление ударных фронтов. Расчетная скорость сост. 1805м/с для 1 опыта во 2 опыте 1600м/с. Ср. число Маха сост. 0,7 для 1 опыта и 0,5 для 2 опыта.

При температуре на входе 800К скачок давления еще меньше, чем при 600К. Однако при высокой температуре впрыска свежая смесь легко сгорает в результате дефлаграции, но дефлаграция не может сжечь всю смесь. В 3 опыте за счет большой зоны впрыска больше смеси попадать в камеру, что поддерживает детонационную волну. В 4 опыте после воспламенения детонационная волна, сделав два оборота начала слабеть, а затем из-за ударных фронтов возникла вторая волна. Пиковое давление упало до 2,2МПа. Хотя обе детонационные волны слабые, но спустя 20 оборотов они все же не погасли. Рассчитанная ср. скорость детонации сост. 1811м/с для 3 опыта и 1252м/с для 4 опыта. Ср. число Маха сост. 0,5 для 3 опыта и 0,4 для 4 опыта.

Из 4 опытов можно сделать вывод, что высокая температура впрыска важна для получения детонационных волн в смесях керосин/воздух и управления режимом их распространения. При 600К образуются детонационные волны и ударные фронты, вызванные продуктами реакции. С ростом температуры впрыска продукты горения в слое свежей смеси мешают распространению детонационных волн. При температуре 800К дефлаграция становится особенно выраженной. Уменьшение площади впрыска приводит к появлению продуктов горения в слое свежей смеси. Наличие продуктов горения в слое смеси снижает скорость детонации. Однако при температуре впрыска 600 и 800 К большая площадь впрыска может быть использована для уменьшения влияния дефлаграции.

Среднее число Маха на выходе уменьшается с уменьшением отношения площадей и увеличением температуры впрыска, поток на выходе становится дозвуковым.

1. F.A.Bykovskii,S.A.Zhdan, E.F.Vedernikov,Continuous detonation of the liquid kerosene-air mixture with addition of hydrogen or syngas,Combust.Explos.Shock Waves 55 (2019) 589–598;

## **Использование термоиндикаторных красок для определения температуры поверхности элементов ГТД**

Голенцов Д.А., Фланден В.С.  
ЦИАМ, г. Москва, Россия

Одним из методов определения температуры поверхности элементов ГТД (камер сгорания, сопловых аппаратов, элементов турбин и др.), в ходе их испытаний, является термометрирование элементов ГТД, в том числе из новых конструкционных материалов, с помощью многопереходных термоиндикаторных красок, которые обеспечивают возможность получения наглядной информации о температурах поверхности без ее искажения и трудоемкой предварительной подготовки, например, организация оптического доступа, препарирование поверхности и т.д.

В ЦИАМ разработаны и успешно применяются оригинальные термоиндикаторные краски, представляющие собой многокомпонентные вещества, состав которых подобран таким образом, чтобы обеспечить равномерную индикацию в широком интервале температур. В настоящее время разработаны несколько термоиндикаторных красок на разные диапазоны температур, покрывающие область от 50 до 1750 С. Погрешность определения цветовых переходов на изотерме составляет 6 градусов в зависимости от температурного диапазона. Для каждой из термоиндикаторных красок разработана технология получения, определены основные технические характеристики. Термоиндикаторные краски отличаются очень высокой адгезией за счет введения дополнительных добавок, практически не влияющих на температуры цветовых переходов. Краски предоставили возможность впервые исследовать внутреннюю поверхность камер сгорания непосредственно в зоне горения и исследовать температурные поля на поверхности неметаллических элементов камеры сгорания.

Также разработана технология применения краски на исследуемом объекте.

Выбор термоиндикаторной краски для работы проводится исходя из ожидаемого интервала температур и типа материала исследуемого объекта.

Создателями термоиндикаторных красок, порядка их применения и расшифровки полученных термоиндикаторных картин являются сотрудники ЦИАМ Мирная М.Р. и Иванов К.А. [1].

Метод исследования температурных полей с применением термоиндикаторных красок включает в себя, в том числе, расшифровку температурных полей по цифровой фотографии термопокрытия после эксперимента. Опытный специалист может оценить распределение температур на поверхности делали непосредственно по её внешнему виду. Для быстрого построения распределения температур применяется расшифровка в автоматизированном режиме с использованием компьютерного атласа цветовых зон [2]. Её результатом является температурное поле, привязанное к цифровому изображению поверхности (фотографии, эскизу или чертежу).

Термоиндикаторные краски широко применяются для термометрирования поверхности элементов ГТД как в ЦИАМ, так и на предприятиях отрасли.

Литература:

1. Мирная М.Р., Иванов К.А., Бородако В.В. и др. Применение термоиндикаторных красок для исследования теплового состояния камеры сгорания // ЦИАМ 2001-2005. Основные результаты научно-технической деятельности. Под общей редакцией В.А. Скибина, В.И. Солонина, М.Я. Иванова. Т. 2. – М.: ЦИАМ, 2005, с. 442-445.

2. Мирная М.Р., Иванов К.А., Кобцева А.А. и др. Автоматизация определения температурного поля поверхности элементов газотурбинных двигателей, полученного с помощью термокрасок // Автоматизация в промышленности, №4, 2016, с. 20-24.

## **Испытательный стенд поршневых и электрических двигателей и тяговых характеристик воздушных винтов**

Григчин Д.М.  
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время, в виду интенсивного развития малогабаритных летательных аппаратов, в частности беспилотных летательных аппаратов, стало как никогда актуальной

разработка малогабаритных ДВС и электродвигателей, отвечающих современным требованиям. В связи с этим появляется необходимость в испытательных стендах для вышеуказанных двигателей. Стенд должен быть простым в обслуживании, надёжным и при этом позволять определять все необходимые параметры двигателя. Разработанный нашей командой стенд будет состоять из жёсткой станины, на которой будут закреплены подшипниковые узлы для максимально плавного хода рейки, топливный бак (с возможностью нагнетания выхлопных газов) и испытательная аппаратура. Сама станина будет крепиться к полу. Стенд будет фиксировать и выводить измерения тяги, момента винта, частоты оборотов вала, температуры двигателя, расхода топлива и вибрации. При измерениях будут учитываться атмосферные условия в месте проведения испытания. Тяга будет измеряться тензометром, расположенным под рейкой для крепления двигателя. Момент будет измеряться через рычаг, давящий на другой тензометр. Для испытания двигателя с обратным вращением винта, тензометр возможно переставить на другую сторону станины. Обороты будут измеряться лазерным тахометром по коку винта. В случае двигателя с редуктором будет проводиться перерасчёт оборотов и для колёчатого вала. Температура будет измеряться термодатчиками в теплонапряженных местах двигателя, также будет фиксироваться температура топлива. Расход топлива будет измеряться по затраченному весу на время проведения испытания на одном режиме и с помощью расходомера. Вибрация будет измеряться с помощью акселерометров (или) преобразователей сейсмического типа и индуктивные (или) пьезоэлектрические преобразователи вибраций, снимающих показатели непосредственно с двигателя. Выведенная со стенда информация будет обрабатываться в цифровом виде. В качестве основы будет выступать микроконтроллер Arduino Mega 2560. К нему будут подключаться все, необходимые для полного мониторинга, датчики, согласно ГОСТ 10448-2014 об испытаниях поршневых двигателей. Данные с контроллера будут передавать через Com порт в виртуальную среду разработки NI Lab View, обрабатываться, записываться и выводиться в удобной для визуального восприятия форме, такой как графики в режиме реального времени. Это необходимо чтобы не загружать вычислениями микроконтроллер и повысить общее быстродействие системы.

Литература:

1. ГОСТ 10448-2014 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Приемка. Методы испытаний».
2. Измерение крутящего момента при испытаниях авиационных ГТД: метод, указания к лаб. работе / [сост. В.А. Григорьев и др.]. – Самара: Изд-во Самар. нац. исслед. ун-та, 2016. – 24 с.: ил.
3. Измерение крутящего момента на вращающихся валах. В.Л. Гапонов, А.С. Гуринов, В.В. Дудник. Вестник ДГТУ.2012. №1(62), вып.2. УДК 62-791.2
4. «МАИ» национальный исследовательский университет. Кафедра «Проектирование и производство двигателей летательных аппаратов». Реферат по дисциплине «Испытание авиационных газотурбинных двигателей» на тему: «Средства измерения частоты вращения». Преподаватель: Хопин П.Н., студент: Жуковская А.О. группа 2ДЛА-4ДБ-275. Москва 2017.
5. Новосибирский государственный университет кафедра общей физики. Измерительный практикум «Методы измерения температуры» А.Г. Костюрина методическое пособие. Новосибирск 2012.

### **Исследование свойств полимер-керамического композита для изготовления газоразрядной камеры высокочастотного ионного двигателя**

Данилов М.Д., Ситников С.А.  
МАИ, г. Москва, Россия

Для одновременного увеличения мощности и КПД перспективных ВЧИД необходимо увеличение диаметра ГРК до значения 500 мм и более, при сохранении толщины стенки 4-5 мм. Используемые сегодня образцы ГРК изготавливаются из керамики (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) и имеют диаметр не более 160 мм.

В качестве замены керамики, как материала ГРК, предложено применение полимер-керамических композитов системы кремнийорганический каучук (матрица) – дисперсионный керамический наполнитель (например, корунд, нитрид кремния или диоксид кремния). Основными преимуществами данного материала являются следующие уникальные свойства [1]:

- Повышенная вибростойкость.
- Высокая технологичность, позволяющая получать ГРК большого диаметра (более 160 мм).
- Высокие диэлектрические свойства.
- Высокая термостойкость (рабочая температура до 350...400°C).

Эксплуатационные испытания показали, что наряду с правильным выбором системы «матрица – наполнитель» существенную роль в вопросе применения полимер-керамического композита в качестве материала для ГРК играет правильная термообработка этого композита. Традиционная технология вулканизации кремнийорганических силиконов предусматривает двухстадийный режим получения изделий. При этом первичную вулканизацию проводят в металлической пресс-форме под давлением 3 – 5 МПа в течение 10 – 20 мин при 120 – 180°C (в зависимости от природы каучука и вулканизатора) с предварительным медленным повышением температуры и охлаждением каучука в прессе по окончании вулканизации. На второй стадии – довулканизации, изделия обычно прогревают вне пресс-формы с обязательной циркуляцией воздуха в термостате при 200 – 250°C с длительностью процесса 6 – 24 ч. Для исключения выделения легколетучих кремнийорганических компонентов при эксплуатации ГРК было предложено использовать совмещенный технологический процесс довулканизации/отжига в вакууме.

Было обнаружено существенное влияние скорости нагрева в вакууме на потерю массы материала изделия и его структуру. Установлено, что увеличение скорости нагрева образцов ГРК в вакууме выше значения 0,41 °C/мин (для толщины стенки изделия до 5 мм) приводит к большой потере массы изделий (более 20%) и к образованию таких дефектов структуры, как пузыри на поверхности и расслоения в толще материала. Снижение скорости нагрева образцов позволяет снизить потери массы изделий (до 5..7 %) и уменьшить вероятность появления дефектов структуры материала. Вероятным объяснением существенного влияния скорости нагрева на потерю массы образцов может быть протекание двух конкурирующих процессов: термодеструкция органического обрамления основной полимерной цепи и процесс конденсации по образовавшимся радикалам с образованием новых связей.

Дальнейшие исследования должны привести к получению материала ГРК, максимально адаптированного к условиям эксплуатации (в том числе и рабочая температура до 400°C) ВЧИД.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-19-00419.

Литература:

1. Лёб Х.В., Попов Г.А., Обухов В.А., Фейли Д., Коллингвуд Ш., Моголкин А.И. Крупногабаритные высокочастотные ионные двигатели // Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск №60.

### **Перспективные методы улучшения характеристик высокочастотных ионных двигателей**

Демченко Д.С., Мельников А.В., Абгарян В.К., Пейсахович О.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

Электроракетные двигатели (ЭРД) стали неотъемлемой частью современных космических аппаратов (КА). ЭРД могут обеспечивать коррекцию положения спутников и поддержание их рабочей орбиты во время эксплуатации, а также выполнять задачи довыведения при запуске аппарата. Малый расход рабочего тела и высокий удельный импульс тяги этих двигателей позволяют обеспечить длительный срок активного существования КА, который в настоящее время может достигать 15 лет [1]. Самый высокий удельный импульс характерен для ионных двигателей (ИД) с электростатическим механизмом ускорения ионов рабочего

тела. На сегодняшний день существует три типа ИД, различающихся организацией процесса ионизации рабочего тела: с разрядом постоянного тока, с высокочастотным (индуктивным) и сверхвысокочастотным разрядом. В России разрабатываются первые два типа ИД. Основная часть исследований в области высокочастотных ионных двигателей (ВЧИД) проводится в Научно-исследовательском институте прикладной механики и электродинамики МАИ. Одним из актуальных направлений работ является изучение новых методов повышения характеристик современных ВЧИД. Важность решения этой задачи обусловлена постоянным повышением требований к космической технике и, в частности, к двигательным системам.

В рамках настоящей работы с использованием разработанной ранее инженерной математической модели [2] были проведены теоретические исследования возможности повышения характеристик ВЧИД двух типоразмеров: с диаметром пучка 80 мм и 160 мм.

Расчёты проводились с целью определения оптимальной геометрии разрядной камеры (РК) и электродов ионно-оптической системы (ИОС) ВЧИД, а также для оценки возможного повышения интегральных характеристик за счёт использования дополнительного постоянного магнитного поля с различной конфигурацией в области ВЧ разряда. Сравнение результатов расчёта производилось с характерными для данных типоразмеров исходными конфигурациями двигателей с полусферической РК и плоскими электродами ИОС. Оптимальная геометрия определялась за счёт варьирования высоты РК и глубины прогиба электродов ИОС. Влияние дополнительного постоянного магнитного поля на интегральные характеристики ВЧИД исследовалось для трёх конфигураций поля, различающихся радиальным градиентом индукции.

В результате были получены зависимости интегральных характеристик ВЧИД от геометрических параметров РК и электродов ИОС, которые позволили определить оптимальные формы этих элементов, а также от индукции дополнительного магнитного поля, позволившие найти наилучшую его конфигурацию. Согласно расчётам, при использовании этих двух методов улучшения характеристик можно ожидать прирост тяги на уровне 12 % для двигателя с диаметром пучка 80 мм и почти 20 % для двигателя с диаметром пучка 160 мм, по сравнению с исходной конфигурацией с полусферической РК и плоскими электродами ИОС.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-29-01006.

Литература:

1. Перспективные технологии и сервисы спутниковой связи [Электронный ресурс] URL: [http://archive.satcomrus.ru/2022/presentations/5\\_%20%D0%A3%D1%80%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B8%D1%87\\_27102022.pdf](http://archive.satcomrus.ru/2022/presentations/5_%20%D0%A3%D1%80%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B8%D1%87_27102022.pdf) (дата обращения: 25.10.2023)

2. Kanev S., Melnikov A., Nazarenko I., Khartov S. Mathematical model of radio-frequency ion thruster with an additional magnetostatic field // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 18th International Conference "Aviation and Cosmonautics", AviaSpace 2019. 2020. С. 012010. DOI: 10.1088/1757-899X/868/1/012010

## **Сравнительное исследование различных установок типа "Интерферометр с потоком" с целью определения влияния особенностей конструкции на извлекаемые значения**

**импеданса**

Денисов С.Л.

ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Для решения задачи снижения шума самолёта на местности важно обеспечить снижение шума основного источника, которым является авиационная силовая установка. Шум вентилятора является одним из основных источников шума как в передней, так и в задней полусфере и одним из основных методов снижения его шума является установка звукопоглощающих конструкций (ЗПК), представляющих собой однослойные или многослойные перфорированные панели, характеризующиеся зависящей от частоты величиной — импедансом. Проблема определения импеданса ЗПК для реализации максимальной эффективности снижения шума двигателя является одной из основных проблем в современной авиационной акустике, и находится в фокусе активного внимания различных исследовательских групп.

Одним из способов исследования свойств и извлечения импеданса ЗПК как при наличии воздушного потока, так и при его отсутствии, является применение установок типа «Интерферометр с потоком», которые конструктивно представляют собой канал прямоугольного сечения с акустически жёсткими стенками, в котором распространяется звуковая волна определённой частоты, в одной из стенок установки устанавливается исследуемый образец ЗПК, а на противоположной стенке заподлицо устанавливаются микрофоны, измеряющие уровни звукового давления в канале.

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния числа и расположения микрофонов на извлекаемые значения импеданса на установках типа «Интерферометр с потоком» на примере однослойных ЗПК при отсутствии воздушного потока. Сравнительный анализ проводится для двух установок типа «Интерферометр с потоком» — установки ЦАГИ и установки NASA GFIT (Grazing Flow Impedance Tube). Данные для установки NASA GFIT были предоставлены ведущим специалистом NASA в области разработки ЗПК Майком Джонсом в рамках проекта IFAR (International Forum for Aviation Research).

В отличие от общепринятых способов, использующих мультитональные сигналы для исследования распространения звука и извлечения импеданса, в данной работе применяются линейный частотно модулированный сигнал для установки NASA и МЛС-эксперимент для установки ЦАГИ. Использование этих сигналов позволило получить информацию о передаточных функциях используемых экспериментальных установок, а также более детально исследовать импеданс ЗПК в области частоты настройки. Полученные результаты продемонстрировали влияние числа и положения микрофонов, а также важность конструктивных особенностей используемых установок на извлекаемые значения импеданса.

#### **Автоматизированная система испытаний стенда «Исследование характеристик ЭРД»**

Монахова В.П., Ермакова М.О., Хартов С.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Использование современных информационных технологий позволяет существенно повысить точность измерения и обработки параметров исследуемых электроракетных двигателей, получая измерительную информацию в режиме реального времени.

В данной работе рассматриваются результаты работы по созданию автоматизированной системы управления (АСУ) и автоматизированной информационно-измерительной системы сбора и обработки экспериментальных данных (АИИС) на научном стенде лаборатории «Исследование характеристик электроракетных двигателей» кафедры № 208 «Электроракетные двигатели, энергетические и энергофизические установки» МАИ (НИУ).

Объектом исследовательских испытаний является лабораторный образец высокочастотного двигателя, работающий на газообразном рабочем теле. В состав лабораторного образца ВЧИД входят: двигательный блок (1 штука), включающий следующие основные подузлы: устройство ионизации – разрядная камера (РК) с индуктором; узел ускорения – ионно-оптическая система (ИОС), нейтрализатор электрического заряда струи (КН); защитный кожух; монтажно-установочный (вакуумный) фланец (1 штука) с электро- и газо-вводами.

Лабораторный образец ВЧИД предназначен для проведения исследовательских испытаний – испытаний, проводимых с целью определения основных интегральных параметров двигателя.

Испытательный стенд оснащен современной информационно-измерительной двухуровневой системой: нижний уровень – измерительная подсистема; верхний уровень – информационная подсистема.

Нижний уровень составляют датчики, исполнительные механизмы, система управления, контроллер, демонстрационная панель. Подсистема обеспечивает регистрацию и обработку параметров двигателя в режиме реального времени (например, снятие зондовых характеристик, а также измерение физических полей (температур, концентраций) спектральными методами).

Верхний уровень включает сервер базы данных, автоматизированные рабочие места операторов. Подсистема обеспечивает проведение научно-технических расчетов, приведение и представление результатов испытаний в необходимом виде, архивацию и внешний доступ к результатам испытаний.

Управление процессом подготовки и испытания двигателя возможно как в автоматическом, при помощи управляемых контроллером исполнительных механизмов, так и в ручном режиме.

Программное обеспечение обработки, регистрации и управления написано на языке программирования «С» и является виртуальным прибором, обеспечивающим работу АСИ. Виртуальный прибор состоит из двух частей: 1) блочная диаграмма, содержащая функциональные узлы, являющиеся источниками, приемниками и средствами обработки данных; 2) лицевая панель, содержащая средства ввода-вывода: кнопки, переключатели, светодиоды, шкалы, информационные табло и т.п. Для любой системы мониторинга необходимы функции, обеспечивающие контроль над ее конфигурацией, в частности – автоматически создаваемые отчеты. В данном ПО диагностики ЭРД реализовано как отображение конфигурации системы на экран, так и в файл отчета. Длительность измерений и количество датчиков, подключенных к системе, исключают использование оперативной памяти для хранения результатов. Таким образом, среда позволяет накапливать, сортировать данные и обеспечивать произвольный доступ к ним с высокой скоростью.

### **Конструктивные особенности пульсирующих воздушно-реактивных двигателей**

Забровский И.С., Грасько Т.В., Андреев М.Е.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж, Россия

Пульсирующий воздушно-реактивный двигатель (ПувРД) является перспективным направлением для развития беспилотных летательных аппаратов. Особенностью двигателя такого типа является его работа по циклу Зельдовича с подводом тепла при постоянном объеме ( $V=\text{const}$ ).

Схема ПувРД с механическим клапаном (МК) получила наибольшее распространение за счет своей простоты и надежности конструкции. Наличие клапана перед камерой сгорания (КС) ограничивает распространение детонационной волны, направляя движение продуктов сгорания вдоль резонансной трубы через сопло для создания реактивной тяги. Особенности МК с гибкими лепестками, является высокий аэродинамический коэффициент сопротивления  $\zeta$  продуктам сгорания при относительно не больших скоростях полета, а также простота конструкции, малый вес и низкая стоимость производства. На больших скоростях полета происходит отгиб лепестков МК под действием динамического напора воздуха, что приводит к нерасчетному прямооточному режиму работы данного двигателя.

Данный недостаток возможно устранить путем использования бесклапанных конструктивных схем, в основе работы которых, лежит применение аэродинамического клапана. Уменьшение механизации конструкции повышает надежность двигателя, но в свою очередь, приводит к снижению термодинамического КПД из-за малого  $\zeta$  клапана к продуктам сгорания, что связано с низкой амплитуды пульсации давления в КС на малых скоростях полета.

При скоростях полета в пределах 100 м/с МК обладает в значительной мере большим аэродинамическим коэффициентом сопротивления  $\zeta$ . По мере нарастания скорости набегающего потока  $\zeta$  МК падает из-за снижения свойств материала к упругим деформациям. Установка клапана навстречу набегающему потоку при более высоких скоростях полета позволит увеличить  $\zeta$  продуктам сгорания и обеспечит стабильную работу двигателя.

Комбинация в конструкции механического и аэродинамического клапана приведет к двухклапанной схеме ПувРД с одновременной продувкой КС. Это позволит увеличить объем цикловой продувки КС, амплитуду пульсации давления и, как следствие, увеличение аэродинамического коэффициента сопротивления  $\zeta$  обратным газам, что в свою очередь

способствует повышению термодинамического КПД снижению удельного расхода топлива, увеличению удельной и лобовой тяги.

Совместная работа двух клапанов обеспечит стабильную работу двигателя на более высоких скоростях. При достижении скорости 150 м/с тяга двухклапанного ПуВРД окажется примерно равной двигателю с одноклапанной схемой. Дальнейшее увеличение скорости полета, за счет комбинации механического и аэродинамического клапана увеличит цикловую продувку КС, приведет к росту удельной тяги и как следствие, позволит расширить диапазон скоростных характеристик двухклапанного ПуВРД.

Создание двухклапанного ПуВРД позволит дать экономически выгодное и конструктивно простое изделие с расширенным диапазоном скоростей полета. Данный двигатель возможно применить в беспилотных летательных аппаратах, что является востребованным в настоящее время.

Литература:

1. Нечасв Ю.Н. Термодинамический анализ рабочего процесса пульсирующих детонационных двигателей. М.: Военно-воздушная инженерная академия им. Проф. Н.Е. Жуковского, 2002. 52 с. 2. Сейфетдинов Р. Рабочий процесс пульсирующих воздушно-реактивных двигателей. Методы моделирования. М.: Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. Королева, 2008. 123 с.

### **Разработка методики диспергирования двухфазного газожидкостного потока газокапельной структуры**

Зотикова П.В., Решетников В.А., Лепешинский И.А., Кучеров Н.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время развитие способы организации рабочего процесса в форсажных камерах реактивных двигателей методом локальной организации топливно-воздушной смеси путем диспергирования двухфазного газожидкостного потока. Предварительные эксперименты диспергирования такого рабочего тела показали, что для получения заданных характеристик требуется меньше энергии и имеется возможность управления полем параметров [1]. Однако процесс диспергирования пока изучен недостаточно, хотя соответствующие работы имеются [1-5]. В работе [1] были представлены результаты численного исследования процесса диспергирования двухфазного потока, которые позволили уточнить физику процесса формирования результатов диспергирования. Особенностью такого процесса является равенство давления фаз внутри форсунки, что обеспечивает достаточно большую разность скоростей на выходе. Для разработки методики расчета в настоящей работе было выполнено экспериментальное определения дисперсности и скоростей фаз распыла двухфазного потока. Одной из проблем эксперимента является трудность одновременного измерения скорости фаз и дисперсности капель на выходе из форсунки, что связано с высокой оптической плотностью потока. Поэтому измерение этих параметров проводилось на оси на расстоянии  $L=0,4$  м. В результате в этой точке были измерены параметры средний диаметр Заутера  $D_{32} = 42$  мкм и среднemasовая скорость  $w'_{\Sigma} = 29$  м/с.

Была разработана методика расчета параметров на выходе из форсунки, используя параметры на входе в форсунку, которая позволила рассчитать параметры на выходе: скорость капель  $W_{кр}=15,3$  м/с, скорость газа  $W_{г}=149$  м/с и плотность газа

$\rho_{гв}=6,92$  кг/м<sup>3</sup>. Расчёты показали, что скорость капель достигает максимального значения  $w'_{\Sigma}=29$  м/с уже на расстоянии  $L=0,04$  м. А дальше она сохраняет скорость постоянной, как показал эксперимент. Эксперимент подтвердил разработанную методику. Использование величины измеренного размера капель позволило, на основе решения уравнения движения капли в потоке воздуха, оценить расстояние 0,04 м, на котором получается эта скорость в 29 м/с т.е. близкое к измеренному значению. Отношение скорости жидкости в двухфазном потоке к скорости в однофазном при одинаковых условиях по давлению составило величину 0,476. Если прибавить повышенную плотность газа, то значительно увеличивается число Вебера, что приводит к более мелкому распылу.

Литература:

1. Диспергирование двухфазного потока струйной форсункой / И. А. Лепешинский, Н. А. Кучеров, П. В. Зотикова // Вестник Московского авиационного института. – 2023. – Т. 30, № 2. – С. 116-121. – DOI 10.34759/vst-2023-2-116-121.

2. Многофорсуночный смеситель с двухфазным рабочим телом / И. А. Лепешинский, В. А. Решетников, Н. А. Кучеров, П. В. Зотикова // Насосы. Турбины. Системы. – 2021. – № 1(38). – С. 5-11

3. Cui B., Cai M., Li Y. Influence of air–water two-phase flow on the performance of a high-speed inducer. *Journal of Process Mechanical Engineering*. 2020; vol. 234(6), pp. 947-960. doi:10.1177/0956797617753606.

4. Pilch M., Erdman C.A. Use of breakup time data and velocity history data to predict the maximum size of stable fragments for acceleration-induced breakup of liquid drop // *Int. J. Multiphase Flow*. 1987. Vol. 13. P. 741–7

5. Экспериментальное исследование смесительного устройства форсажной камеры газотурбинного двигателя / Е. Ю. Марчуков, А. Н. Мухин, И. А. Лепешинский [и др.] // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. – 2022. – № 4. – С. 3-10.

### **Математическое моделирование гибридной силовой установки для самолётов местных воздушных авиалиний с учетом полетного цикла**

Иванов И.Г., Равикович Ю.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Применение гибридных силовых установок (далее ГСУ) в авиации является востребованным направлением в мировой гражданской авиации в связи с значительным экономическим ростом, открытием около 1300 новых международных аэропортов и двукратным увеличением парка воздушных судов [1]. Две коммерческие области находятся в стадии развития: городская воздушная мобильность и гибридно-электрические самолеты местных и региональных воздушных авиалиний. [2].

Востребованность самолетов местных воздушных авиалиний, предназначенных для выполнения полетов по авиационным маршрутам до 750 км. и перевозки не более 15 пассажиров [3]. В рамках разработки проектов ГСУ проводятся исследования множества возможных схем, которые различаются: массогабаритными характеристиками, а также надежностью и топливной эффективностью [4,5].

В данной работе была разработана математическая модель ГСУ для самолетов местных воздушных авиалиний последовательно-параллельной схемы. Применение последовательно-параллельной схемы, включает в себя, как основной газотурбинный двигатель, обеспечивающий основную потребную мощность воздушного винта так и вспомогательную силовую установку (далее ВСУ), предназначенную для выработки электроэнергии, и сочетает в себе преимущества последовательной и параллельной схемы.

Разработка математической модели ГСУ была выполнена с применением программного комплекса Simcenter Amesim. Для проведения расчетов был проведен анализ полетных циклов летательных аппаратов местных воздушных авиалиний в сервисе Flightradar24. Были заложены характеристики основных узлов как основного двигателя, так и составных частей ВСУ: компрессора, камеры сгорания, турбины, свободной турбины, выходного патрубка. Характеристики электрических машин, воздушного винта, аккумуляторной батареи, вспомогательные модели атмосферы, химических реакций и термодинамических свойств.

Применение методов имитационного моделирования и метода связанных графов позволяет существенно облегчить построение подобного рода математических моделей и оценить их результаты.

В рамках проделанной работы стоит отметить, что на малых высотах полета мощности ВСУ достаточно и заряд аккумуляторной батареи при максимальной мощности ВСУ не тратится. На крейсерском участке полета расходуется энергия аккумуляторной батареи. Методика, представленная в работе, позволяет проводить параметрическое исследование и моделировать работу ГСУ в течение полетного цикла.

Литература:

1. IATA. (2017). World Air Transport Statistics. <https://www.iata.org/en/services/statistics/industry-insights--market-data/world-air-transport-statistics/>

2. IATA. (2019). Aircraft Technology Roadmap to 2050. <https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/technology20roadmap20to20205020n020foreword.pdf>

3. Боровиков, Д. А. Определение области рационального применения и постановка задачи оптимизации гибридных двигателей на базе ТВД для региональных самолетов // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева. – 2021. – № 4(59). – С. 15-22. – EDN TQGGII.

4. «Анализ схем гибридных силовых установок на базе малоразмерных газотурбинных двигателей». Равикович, Ю.А., и др. Сборник тезисов Международной научно-практической конференции имени Н.Д. Кузнецова «Перспективы развития двигателестроения» 2023. – с.104-106.

5. Dean, T. S. (2018). Mission Analysis and Component-Level Sensitivity Study of Hybrid-Electric General Aviation Propulsion Systems. *Journal of Aircraft*, 55(6), 2454–2465.

### **Формирование модели СМК на основе стандартных требований при сертификации авиационной техники**

Карепин П.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Обеспечение безопасности полетов воздушных судов является основной задачей гражданской авиации, одним из направлений решения которой является обязательная сертификация. Процесс сертификации воздушных судов и их систем определен в ФАП-21, который уточнен в нормативных документах Росавиации. Требования этих документов обязывают разработчика и изготовителя авиационной техники иметь систему менеджмента качества (СМК). СМК создается на основе стандартной модели в соответствии с требованиями международных стандартов и поддерживающих документов серии 9100, выпускаемых Международной аэрокосмической группой по качеству (IAQG). Поддерживающими документами могут быть аэрокосмические стандарты серии 9100, обозначаемые AS (Aerospace Standards), и документы рекомендуемой аэрокосмической практики, обозначаемые ARP (Aerospace Recommended Practice). Документы ARP содержат рекомендации по применению передовых практик при решении различных задач в СМК. Одним из таких документов является ARP9137, который представляет руководство по использованию документа AQAP2110 в СМК.

Региональные стандарты AQAP (Allied Quality Assurance Publications) серии 2000 относятся к документам по стандартизации свободного доступа и используются для построения отраслевых СМК оборонных и военных организаций ряда европейских стран. Наличие СМК на основе стандартов AQAP для организаций некоторых стран ЕС является обязательным условием заключения контрактов. Система документов AQAP описана в Соглашении STANAG 4107. В настоящее время применяются документы AQAP двух типов: стандарт в виде технической спецификации, используемой в условиях заключения контракта, и руководство в виде общих указаний, дополняющих требования спецификации. Комплекс AQAP представлен 9 стандартами и 11 вспомогательными документами. Основным документом является стандарт AQAP2110:2016, в котором изложены требования по построению СМК в специализированных организациях, имеющих отношение к выпуску продукции оборонного назначения. В дополнение к этому документу прилагаются 4 руководства (SRD.1, SRD.2, SRD.3, SRD.3.1) в виде вспомогательных материалов для облегчения применения базового стандарта. Стандарт AQAP2110:2016 дополняет требования исходного базового авиационного стандарта AS9100, делая его более востребованным для организаций, выпускающих продукцию оборонного назначения

## Исследование свойств термобарьерных покрытий с многослойной структурой

Катанов М.А., Савушкина С.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Термобарьерные покрытия на основе высокотемпературных оксидов используют как для защиты лопаток турбин газотурбинных двигателей, так и исследуются для защиты камер сгорания жидкостных ракетных двигателей. Во многих работах показано увеличение термодинамической стойкости таких покрытий при переходе к многослойной структуре.

Проведены испытания и моделирование термических напряжений в трехслойном и пятислойном термобарьерных покрытиях, полученных методом плазменного напыления.

Многослойные покрытия  $\text{NiCoCrAlY/YSZ/YSZ+YSH/YSH}$  и  $\text{NiCoCrAlY/YSZ+NiCoCrAlY/YSZ/YSZ+YSH/YSH}$  толщиной  $100\div 200$  мкм получали напылением порошков  $\text{NiCoCrAlY}$ ,  $\text{YSZ}$ ,  $\text{YSH}$  и их смесей. В трехслойном покрытии для уменьшения разницы в тепловом расширении между металлическим связующим слоем и верхним слоем на основе стабилизированного оксида гафния используется слой на основе стабилизированного диоксида циркония. Для создания термобарьерного покрытия с более плавным изменением теплового расширения в трехслойную структуру добавляли композитные слои. Термоциклические испытания проводили при тепловых потоках  $\sim 106 - 107$  Вт/м<sup>2</sup> в плазме азота с помощью плазматрона постоянного тока при охлаждении обратной стороны образцов с покрытием водой. Моделирование термических напряжений при температуре на поверхности покрытий 2100 К проведено с помощью программы Comsol Multiphysics.

Моделирование термических напряжений в трехслойном теплозащитном покрытии  $\text{NiCoCrAlY/7YSZ/9YSH}$  показало, что наибольшим растягивающим напряжениям подвержен верхний слой на основе оксида гафния, несмотря на наименьший в покрытии КТР, а наибольшие их значения возникают на границе  $\text{9YSH-7YSZ}$ . Это может приводить к формированию сети микротрещин и локальному отслаиванию верхнего слоя, что и было получено при термоциклических испытаниях.

Формирование пятислойного теплозащитного покрытия при добавлении композитных слоев в трехслойную структуру привело к снижению термических напряжений при термоциклических испытаниях. Наибольшие растягивающие напряжения получены в верхнем слое, однако, они приблизительно на 200 МПа ниже, по сравнению с трехслойным покрытием. Сжимающие напряжения в нижележащем слое так же меньше, приблизительно на 100 МПа. В процессе термоциклических испытаний происходило постепенное ухудшение теплового сопротивления покрытий, что связано с увеличением теплопроводности, вызванного высокотемпературным спеканием структуры, без формирования микротрещин. Наибольшую стабильность характеристик показало пятислойное покрытие с толщиной 150 мкм.

1. Noor-A-Alam M., Choudhuri, A.R., Ramana C.V. Effect of composition on the growth and microstructure of hafnia–zirconia based coatings//Surface & Coatings Technology. – 2011. – V. 206. – P. 1628–1633.

2. Savushkina S., Polyansky M., Vysotina E., Ashmarin A., Tkachenko N. Formation and investigation of nanocomposite gradient coating with upper layer of hafnia// Surface & Coatings Technology. – 2019. – V. 361. – P. 212–221.

3. Thibblin A., Jonsson S., Olofsson U. Influence of microstructure on thermal cycling lifetime and thermal insulation properties of yttria-stabilized zirconia thermal barrier coatings for diesel engine applications// Surface & Coatings Technology. – 2018. – V. 350. – P. 1–11.

## Численное моделирование звукопоглощения в трубках с учетом комплексного импеданса стенки

Клименко Д.В., Тимушев С.Ф., Кривун К.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Исследование акустических свойств трубопроводов и звукопоглощения имеет важное практическое значение в различных областях, включая акустические системы, авиацию, акустические материалы и многое другое. Эффективность звукопоглощения определяется

соотношением между импедансами среды и стенки трубки. Комплексный импеданс стенки включает в себя активную и реактивную составляющие, что делает его более сложным для учета. Для численного моделирования звукопоглощения с учетом комплексного импеданса стенки используются математические модели, основанные на уравнениях движения звука и теории акустического импеданса.

В нашем исследовании была применена следующая геометрия трубопровода: круглая труба радиусом  $R=0,01$  м, длины около  $16R$ . Граничные условия: на входе - задана плоская акустическая волна  $P=\cos(2\pi t)$ ; на выходе - Задача 1 – импеданс=1, Задача 2 и Задача 3 – стенка. Вычислительная сетка: равномерная по  $X, Y, Z$   $4*15*15$ . Скорость расчета: 2 шага в секунду. Задача 1: длина волны –  $6R$  (3 периода помещаются на длине трубы), шаг по времени – 0.02, сходимость – через 10 периодов (точность 0.1), время расчета – 25 сек/период. Задача 2: получились стоячие волны (с резонансом) из-за стенки на выходе. Длина волны -  $4R$ , шаг по времени – 0.025, время расчета – 20 сек/период. Задача 3: получился резонанс  $\frac{1}{4}$  волны (на выходе – стенка), длина волны –  $68R$  ( $\frac{1}{4}$  периода помещаются на длине трубы), шаг по времени – 0.001, время расчета – 8 мин/период. Результаты численного моделирования показывают, что учет комплексного импеданса стенки трубы оказывает заметное влияние на эффективность звукопоглощения.

Исследование подчеркивает важность учета комплексного импеданса стенки при моделировании звукопоглощения в трубопроводах. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение модели с учетом более сложных геометрических форм трубок и уточненных материалов стенки для более точного предсказания процессов звукопоглощения.

Литература:

1. Синер А.А. Методика выбора звукопоглощающих конструкций для турбомашин на основе математического моделирования. Дисс. ... канд. техн. наук. Пермь, 2010. 168 с.

2. Watson W.R., Jones M.G. A comparative study of four impedance reduction methodologies using several test liners // 19th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference. 2013. DOI: 10.2514/6.2013-2274

3. Jones M.G., Parrott T.L., Watson W.R. Comparison of acoustic impedance reduction techniques for locally-reacting liners // 9th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference and Exhibit. 2003. DOI: 10.2514/6.2003-3306

4. Копьев В.Ф., Пальчиковский В.В., Беляев И.В., Берсенеv Ю.В., Макашов С.Ю., Храпцов И.В., Корин И.А., Сорокин Е.В., Кустов О.Ю. Создание заглушенной установки для аэроакустических экспериментов и исследование её акустических характеристик // Акустический журнал. 2017. Т. 63, № 1. С. 114-126. DOI: 10.7868/S032079191701004X

5. Sobolev A.F., Ostrikov N.N., Anoshkin A.N., Palchikovskiy V.V., Burdakov R.V., Ipatov M.S., Ostroumov M.N., Yakovets M.A. Comparison of liner impedance derived from the results of measurements at two different setups using a small number of microphones. PNRPU Aerospace Engineering Bulletin. 2016. No. 2 (45). P. 89-113. DOI: 10.15593/2224 9982/2016.45.05. (In Russ.)

6. De Mercato L., Tester B.J., Holland K. Aft fan noise reduction with a lined afterbody. 14th International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2007. 2007. V. 3. P. 2394-2401.

### **Методика сквозного численного моделирования рабочего процесса малоразмерного газотурбинного двигателя с учетом течения во внутренних полостях**

Ковалева Н.Н., Давыдов А.А., Вятков В.В., Тошачков А.М.

РГАТУ имени П.А. Соловьёва, г. Рыбинск, Россия

Современная методология проектирования газотурбинных двигателей предполагает широкое использование численного моделирования рабочего процесса [1, 2]. Однако при этом сохраняется использование одномерных методик при определении параметров двигателя (по термодинамической модели), расчета течения в полостях и определения осевых сил. При этом неизбежно возникают ошибки при переходе между трехмерными расчетами узлов к одномерной модели двигателя в целом. Избежать этого позволит переход к сквозному моделированию рабочего процесса, которое исключит ошибки в определении

газодинамических характеристик потока и исключит итерационный подход при определении характеристик двигателя. По состоянию на сегодняшний день решение таких задач реально только для малоразмерных ГТД с неохлаждаемой турбиной.

Разработанная методика сквозного численного моделирования реализована для малоразмерного ТРД с центробежным компрессором, противоточной кольцевой камерой сгорания, осевой неохлаждаемой турбиной и сужающимся соплом. Расчетная модель включает в себя не только проточную часть двигателя, но и внутренние полости, что позволяет на этапе численного моделирования оценить не только основные параметры узлов, но и утечки из проточной части и осевые газовые силы. Методика сквозного численного моделирования рабочего процесса требует в качестве исходных данных (помимо геометрической модели) только параметры атмосферы, обороты ротора, расход топлива в камере сгорания и параметры его распыла.

При сквозном моделировании исключаются ошибки при передаче данных между доменами. Данный подход полностью учитывает условия совместной работы узлов. Возможно определение тяги двигателя на рассматриваемом режиме и любых параметров по сечениям без дополнительных программных средств термодинамического расчета. Реализация методик сквозного моделирования рабочего процесса позволит уменьшить объем расчетных работ по определению характеристик узлов при проектировании.

Литература:

1. Осипов И. В., Ломазов В. С. Разработка малоразмерных ГТД различного типа на базе унифицированного газогенератора // *Авиационные двигатели*. 2019. № 4 (5)
2. Сыченков В. А., Лиманский А. С., Юсеф В. М., Анкудимов В. В., Сейид Джафари С. С. Малоразмерный газотурбинный двигатель для беспилотного летательного аппарата // *Известия высших учебных заведений. Авиационная техника*. 2019. № 4. С. 115 – 123.

#### **Исследование сеточной сходимости при моделировании процесса охлаждения защитных экранов форсажной камеры ГТД заградительным способом**

Коваленко А.С., Григоровский В.В., Бусел Н.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время основным методом тепловой защиты корпуса форсажной камеры (ФК) газотурбинного двигателя (ГТД) является использование защитных экранов. Холодный воздух из второго контура через перфорационные отверстия малого диаметра попадает в основную контур и создает пограничный слой.

При проектировании авиационных двигателей широкое распространение получили методы математического моделирования. Для прочностного анализа используется метод конечных элементов (FEM – от англ. Finite Element Method), а для газодинамического анализа метод конечных объемов (FVM – от англ. Finite Volume Method). В них рассматриваемая область с помощью сетки разбивается на конечное количество элементов. Для данных методов характерна ошибка дискретизации, которая подразумевает разницу между решением на конкретной сеточной модели и «точным» решением на бесконечно малой сетке.

Целью работы является поиск безразмерного коэффициента, позволяющего найти оптимальный размер ячейки в перфорационных отверстиях. В докладе рассматриваются результаты газодинамических расчетов теплозащитных экранов ФК с помощью комплексов вычислительной гидрогазодинамики (CFD – от англ. Computation Fluid Dynamic) на сеточных моделях различного масштаба и типа (тетраэдральная, полиэдральная, а также комбинированная).

Литература:

1. Молчанов А.М. «Математическое моделирование задач газодинамики и тепломассообмена». М.: Изд. МАИ, 2013, 210с.
2. Авдусевский В.С., Данилов Ю.И., Кошкин В.К., Кутырин И.Н., Михайлова М.М., Михеев Ю.С., Сергель О.С., «Основы теплопередачи в авиационной и ракетной технике». 1960, 254-260с.

3. Иноземцев А.А. «Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Том 2. Компрессоры. Камеры сгорания. Форсажные камеры. Турбины. Выходные устройства. 2022, 560-590с.

4. Anderson J.D. «Fundamentals of Aerodynamics». Fifth edition. 2010, с 906-961.

### **Анализ теплового состояния интегрированного на вал ротора газотурбинного двигателя starter-генератора**

Кондражков А.Д., Леонтьев М.К.

МАИ, г. Москва, Россия

Ключевой технологией в рамках концепций по созданию гибридных силовых установок и электрического самолета является интеграция starter-генератора во внутреннюю полость авиационного двигателя на вал ротора. При этом предполагается генерация большего количества вырабатываемой мощности в сравнении с расположением стартера, генераторов или их комбинацией на коробках приводов за счет большего объема доступного пространства во внутренних полостях двигателя [1].

Электрические обмотки starter-генератора в процессе работы выделяют тепло, которое обуславливается их тепловыми потерями. Также имеет место конвекция со смежными деталями двигателя [2]. При условии мгновенного нагрева электрических обмоток при подаче напряжения для поддержания удовлетворительного температурного состояния электрической машины на запуске и останове необходимо использовать электроприводные насосы, которые смогут обеспечить заданный расход хладагента на любом режиме работы двигателя. Для использования электроприводных насосов подачи и откачки хладагента в системе охлаждения возможны две траектории:

1) Доработка традиционной маслосистемы газотурбинного двигателя с добавлением электроприводных насосов и использованием штатного маслобака и теплообменников;

2) Разработка отдельной автономной системы охлаждения с электроприводными агрегатами и собственными маслобаком и теплообменниками [3].

По результатам оценки теплового состояния starter-генератора и в качестве рекомендаций для проектирования будущих электрических машин для гибридных силовых установок и силовых установок для более электрического самолета можно сделать несколько выводов:

1) В случае использования метода конечных элементов при оценке теплового состояния электрической машины необходимо использовать циклосимметричную постановку, которая учитывает неравномерность внутренней структуры starter-генератора [4];

2) Использование автономной системы охлаждения обеспечивает приемлемые условия эксплуатации starter-генератора при минимальном расходе хладагента, но наличие дополнительного контура системы охлаждения увеличивает массу всей системы;

3) Использование традиционной доработанной системы охлаждения не обеспечивает удовлетворительные условия для эксплуатации электрической машины даже при максимальном расходе хладагента;

4) При достижении высоких уровней готовности технологии «керамический подшипник скольжения» можно полностью отказаться от использования штатной маслосистемы и преобразовать ее в автономную систему охлаждения электрического контура гибридной силовой установки или силовой установки для электрического самолета.

Литература:

1) Р.Г. Дадоян. О выборе топологии интегрированного starter-генератора для двухконтурного турбореактивного двигателя / Р.Г. Дадоян, Р.П. Уразбахтин, Я.В. Спирякина, Р.Я. Халиуллин // Электротехника, 2022. - № 12. - С. 48-52. - Библиогр.: с. 52 (4 назв.);

2) Mykhailenko T., Nemchenko D., Douaissia Omar Hadj Aissa and Petukhov, I. (2017), "Approaches to the Simulation of Thermal Hydraulic Processes in the Oil System Elements of Gas Turbine Engine", Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment, no. 10(1232), pp. 79–84, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2017.10.11;

3) OYORI Hitoshi. A Study on the More Electric Architecture for Aircraft and Propulsion (MEAAP) Concept / OYORI Hitoshi, KUWATA Gen, MORIOKA Noriko // IHI Engineering review, Vol. 52, №1, 2019.

**Исследование физико-химических свойств поверхностного слоя алюминиевых и титановых сплавов после лазерного ударного упрочнения с применением различных типов абляционных покрытий**

Королев Д.Д., Кожевников Г.Д., Токачев Д.А., Ляховецкий М.А., Петухов Ю.В.  
МАИ, г. Москва, Россия

Лазерное ударное упрочнение – инновационная технология поверхностного пластического деформирования, повышающая предел выносливости металлических изделий. Суть данной технологии заключается в создании остаточных напряжений в поверхностном слое детали при помощи плазмы высокого давления, которые благоприятно влияют на увеличения усталостной прочности.

Целью данной работы являлось определение влияния различных абляционных покрытий на физико-химические свойства образцов после обработки методом лазерного ударного упрочнения. В качестве исследуемых материалов были использованы образцы из сплавов: Д16Т, АК4-1, ВТ6 и абляционные покрытия: ПВХ-лента, алюминиевая лента и различные покрытия на основе красок и грунтов. Для определения возможности обработки деталей с различными покрытиями была исследована их стойкости к лазерному излучению. Данные эксперименты проводились в диапазоне интенсивностей излучения от 1 ГВт/см<sup>2</sup> до 9 ГВт/см<sup>2</sup>. Величина деформаций измерялась на лазерном конфокальном микроскопе Olympus LEXT OLS5000. Для дальнейшего анализа поверхности детали после лазерного ударного упрочнения с различными абляционными покрытиями проводилась сканирующая электронная микроскопия с энергодисперсионным микроанализом.

В результате было получено, что при использовании ленточных абляционных покрытий (ПВХ и алюминиевая лента) обработка детали лазерным ударом возможна лишь с ограничениями: для обработки детали при высоких значениях интенсивности необходима промежуточная замена покрытия из-за его быстрого разрушения. Покрытия на основе красок и грунтов являются более стойкими при воздействии лазерного излучения. Однако, исследование качества поверхности образца после обработки показали, что на поверхности возникают дефекты, которые удаляются только с применением дополнительной механической обработки (полировка, шлифовка). Элементный анализ дефектов показал наличие большого количества кислорода и углерода, что говорит о точечном пробое покрытия.

Дополнительно с этим были проведены усталостные испытания корсетных образцов из сплава Д16Т с применением ПВХ ленты. Выносливость образцов увеличилась на 866%.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования России №FSFF-2023-0006.

Литература:

1. Vamsi A. Y. et al. Investigation of surface structural modifications caused by the influence of the ablative layer in Inconel718 Ni-base superalloy through laser shock peening //Materials Letters. – 2023. – С. 135332.
2. Dhakshinamoorthy P. et al. Study of Surface Modifications of Textile Card Clothing (AISI 1065 Alloy) by Laser Shock Peening //Materials. – 2023. – Т. 16. – №. 11. – С. 3944.
3. Xiong Q. et al. Atomic investigation of effects of coating and confinement layer on laser shock peening //Optics & Laser Technology. – 2020. – Т. 131. – С. 106409.
4. Патент № 2793015 Российская Федерация, МПК В23К 26/60, С23С 26/00, С23С 28/00, В32В 15/04, В05D 1/28, В05D 1/42, В05D 7/14. Способ нанесения абляционного покрытия для снижения термических дефектов при обработке деталей методом лазерного ударного упрочнения: № 2022114867: заявл. 01.06.2022: опубл. 28.03.2023 / Королев Д.Д., Ляховецкий М.А., Лесневский Л.Н., Кожевников Г.Д. – 6 с.

## Исследование параметров плазменного участка полого катода методами математического моделирования

Котельников М.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Полые катоды используются в электрореактивных двигателях (ЭРД), которые применяются для коррекции положения спутников связи, при подъёме космических аппаратов (КА) с промежуточных орбит на рабочие, при утилизации отработавших свой срок аппаратов, а в обозримом будущем – при полётах обитаемых КА к планетам Солнечной системы. Необходимый срок работы двигателя в данном случае должен составлять несколько лет. Поэтому математическое моделирование плазмодинамики полого катода является актуальной задачей.

Вследствие ионизации рабочего газа внутри полого катода возникает плазменное образование, которое называют активной зоной полого катода, где ионизация плазмы достигает высокой степени (более 10%).

Если расход рабочего газа достаточно большой, то на всём участке активной зоны установится режим сплошной среды. Если же расход рабочего газа мал и на выходе из канала образуется вакуумное пространство, то на участке канала, примыкающем к выходу, может возникнуть молекулярный режим.

Приведём математическую модель задачи в режиме сплошной среды при выполнении следующих упрощающих предположений:

- плазма имеет постоянные свойства и замороженные химические реакции;
- вязкостью пренебрегаем;
- магнитное поле отсутствует.

В этих условиях применима модель Эйлера – Пуассона.

Решение системы с добавлением начальных и граничных условий осуществлялось методами последовательных итераций по времени с применением метода крупных частиц для составления уравнений неразрывности и метода среднего арифметического для составления уравнения движения термоэлектронов. Уравнение Пуассона решалось с использованием спектральных методов.

Зафиксирован нелинейный характер зависимости потенциала при наличии эмиссии электронов с поверхности полого катода. Величина потенциальных ям вблизи стенки ПК растёт по мере уменьшения размера радиуса, при этом отрицательный объёмный заряд располагается ближе к стенке.

Обнаружено, что наличие эмиссионного потока электронов существенно влияет на эти распределения, особенно на распределение электронов.

В молекулярном режиме в качестве математической модели использовалась система Власова-Пуассона.

Для решения применялся метод последовательных итераций по времени после импульсного изменения потенциала стенки полого катода, когда уравнения Власова решались методом характеристик, а уравнение Пуассона – одним из спектральных методов.

Исследованы особенности функций распределения компонент плазмы и ряда других параметров.

Полученные распределения концентрации заряженных частиц и потенциалов электрического поля в активной зоне полого катода в зависимости от величины плотности эмиссионного тока электронов позволяют провести расчёт эрозии поверхности ПК и напыления продуктов эрозии на элементы конструкции ЭРД. Эти данные необходимы для оценки срока работы двигателя и определения путей его дальнейшего совершенствования.

Литература:

1. Черкасова М.В. Математическое моделирование физических процессов в полом катоде. Диссертация. М.: МАИ, 2007, 192 с.
2. Котельников М.В., Крылов С.С., Зыонг Минь Дык. Математическое моделирование проточного тракта жидкостного реактивного двигателя. – Космонавтика и ракетостроение, вып. 5(128), 2022, с. 44 – 53.

3. Котельников В.А., Ульданов С.В., Котельников М.В. Процессы переноса в пристеночных слоях плазмы. М.: Наука, 2004, 422 с.

### **Численное моделирование течений в головном и неголовном воздухозаборных устройствах**

Крюков В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В данной работе проводилось исследование течения в головном и неголовном воздухозаборных устройствах. В случае с головным воздухозаборным устройством было выполнено его дросселирование при нулевом значении угла атаки: получены зависимости коэффициента восстановления полного давления от коэффициента расхода для различных значений давления подпора в двумерных сечениях. Полученные зависимости близки к экспериментальным данным и имеют незначительные отклонения, что говорит о правильности методики проведения исследований. Также были получены поля распределения числа Маха, позволяющие проследить изменения характера течения и перемещения прямого псевдоскачка к входному сечению воздухозаборного устройства при повышении давления. В случае с патрубковым воздухозаборником, расположенным на корпусе летательного аппарата – определена требуемая площадь горла воздухозаборного устройства для реализации сверхзвукового втекания, а также построены проекции скорости потока на продольную ось, построено распределение числа Маха с учетом корпуса ракеты.

Для удобства построения расчетной сетки модель была составлена из двух доменов: первый домен содержит вход воздухозаборного устройства с передней частью корпуса летательного аппарата, второй – часть воздухозаборного устройства вблизи изгиба.

Для ускорения расчетов, а также для повышения их качества, применяется структурированная расчетная сетка. Также для значительного уменьшения количества ячеек расчетной сетки расчет проводился для сектора  $90^\circ$  относительно оси летательного аппарата, что также существенно влияет на скорость проведения расчетов.

Все расчеты проводились в программном комплексе «ANSYS CFX».

Расчеты проводятся в газообразной среде («Fluid Domain»), а именно в воздухе, который в данной задаче считается идеальным газом. Модель турбулентности была выбрана Shear Stress Transport, так как она включает в себя модели турбулентности k- $\epsilon$  (вдали от поверхности) и k- $\omega$  (вблизи поверхности).

Исходя из полученных результатов работы, можно говорить о хорошем качестве модели, а также о её применимости при проектировании подобных воздухозаборных устройств. Достоинствами являются малое время расчетов и низкие требования к оперативной памяти.

1. Сорокин В.А. Проектирование и отработка ракетно-прямоточных двигателей на твердом топливе: учеб. пособие / В.А. Сорокин [и др.]; под редакцией В.А. Сорокина.– Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016.–317 с.

2. Зуев В.С., Макарон В.С. Теория прямоточных и ракетно-прямоточных двигателей / М.: Машиностроение, 1971.–368 с.

### **Исследование и совершенствование конструкций модулей современных и перспективных авиационных ТРД и ТРДД с целью повышения уровня их эксплуатационной технологичности и снижения стоимости жизненного цикла**

Кузьмин Е.В., Нестеренко В.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается задача повышения уровня эксплуатационной технологичности и снижения стоимости жизненного цикла современных авиационных ГТД, гражданского и военного назначения, совершенствование конструкции модулей, устанавливаемых в горячей части этих двигателей, технические требования к которым определены ОСТ 1 02666-88 [1]. Узлы горячей части современных авиационных ГТД имеют существенно меньший ресурс работы, чем узлы его холодной части, поэтому в отечественной практике нашла широкое применение методика эксплуатация ГТД «по техническому состоянию». Во многих современных модульных авиационных ГТД газогенератор является базовым модулем,

разукрупнение которого не должно производиться, несмотря на то, что с точки зрения прочности и типовой повреждаемости, ресурса и надёжности целесообразно было бы его разделить на отдельные функциональные блоки (узлы), например блок КВД, КС, СА и РК ТВД, с индивидуальными сроками их ресурса, поскольку они имеют разные уровни ресурса и эксплуатационной повреждаемости, определяемые температурными и центробежными нагрузками, уровнем допустимой циклической прочности и т.д. [2,3]. Типовыми повреждениями узлов горячей части газогенераторов являются прогары и трещины в КС и лопатках СА, обрывы лопаток СА и РК ТВД, которые могут существенно предшествовать истощению ресурса работы других блоков КВД. Рассматриваются особенности разборки и разделения на модули современных отечественных и иностранных авиационных ГТД: семейства ТРДД CFM 56 (модификации 3,5,7), SAM 146, редукторного ТРДДр большой степени двухконтурности PW 1400; ТРДДф фронтовой авиации - EJ 200, M88, РД 33 МК, АЛ 41 ФС и др. Выявлены проблемы, возникающие при решении этих задач на практике. Опыт замены наиболее повреждаемых в условиях эксплуатации модулей ТРДД и ТРДДф показывает, что большую техническую сложность и время занимают работы не по снятию или установке на своё место повреждённого в эксплуатации нового модуля, а снятие других узлов и трубопроводов, мешающих доступу к заменяемому повреждённому модулю. С этой целью разработана методика снятия отдельных блоков не целиком, а их отдельных частей, без снятия других узлов (модулей), к ним примыкающих. Для этих целей была разработана методика замены отдельных узлов, входящих в наиболее часто заменяемые в эксплуатации модули камеры сгорания и соплового аппарата ТВД, используемые в ТРДДф типа РД 33 МК (3).

#### **Моделирование теплового и термонапряженного состояния лопаток турбин с использованием индукционного нагрева при испытаниях**

Лепешкин А.Р., Ху Циньвэй, Поперечный С.С., Ильинская О.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Лопатки турбин – одни из наиболее ответственных элементов, определяющих ресурс авиационных двигателей (АД), поэтому вопросы обеспечения их надежности и ресурса представляются очень важными. Значительная доля повреждений лопаток турбин в АД связана с термическими переменными нагрузками, возникающими при работе двигателя. Появление таких нагрузок объясняется большой неравномерностью температуры потока газа по высоте лопатки турбины и неравномерностью процесса теплопередачи на поверхности детали. Перепады температур в деталях проявляются особенно в нестационарные периоды работы АД. При резком увеличении температуры газа, например, при запуске, пробе приемистости происходит быстрое возрастание температуры на поверхности деталей. Скорость нагрева может достигать значений  $100 \div 200$  К/с В отдельных случаях скорости нагрева могут быть более высокими. Возникающие при этом высокие термонапряжения имеют циклический характер (повторяются при каждом полетном цикле), могут менять свой знак в течение одного полетного цикла, что способствует появлению термической усталости материала деталей. Перепады температур по поверхности лопатки турбины в разных сечениях могут составлять 200–400 С. При этом наиболее нагретыми элементами являются кромки и менее нагретая середина лопатки.

Испытания деталей в системе двигателя приводят к значительному увеличению материально-временных затрат. Сложность воспроизведения циклического эксплуатационного теплового состояния и термомеханического нагружения деталей АД, в том числе с покрытиями, требует разработки новых методов узловых испытаний и экспериментальных исследований таких ответственных деталей АД. Проведение испытаний на специальных стендах и установках позволяет значительно снизить затраты на проведение испытаний по сравнению с испытаниями в системе двигателя. Однако такие узловые испытания характеризуются сложностью имитации рабочих условий и, главным образом, созданием необходимых температурных полей в деталях.

В данной работе предлагается моделирование теплового и термонапряженного состояния лопаток турбин АД при испытаниях на установках с применением высокочастотного (ВЧ)

индукционного нагрева деталей, обеспечивающих воспроизведение эксплуатационных температур и термонапряжений. При достаточно высокой частоте (450 кГц) индукционный нагрев позволяет вполне удовлетворительно имитировать газовый нагрев, а благодаря разработке специальных конструкций индукторов, обеспечивать неравномерное температурное поле деталей в соответствии с заданными условиями испытаний.

Разработана расчетно-экспериментальная методика моделирования режимов теплового состояния неохлаждаемых и охлаждаемых лопаток турбин с теплозащитными покрытиями и их моделей с применением высокочастотного индукционного нагрева и тепловизионных измерений. Кроме того, разработаны и усовершенствованы конструкции индукторов, что позволило повысить точность моделирования теплового состояния лопаток турбин при термоциклических испытаниях. Результаты исследований показали снижение затрат и сокращения сроки проведения специальных испытаний.

### **Требования, предъявляемые для проектирования кластерных систем малых низкоорбитальных космических аппаратов с электроракетной двигательной установкой**

Лодянова В.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Дислоцирование кластерных систем малых космических аппаратов (МКА) на низких и очень низких опорных орбитах (200-300 км) имеет ряд преимуществ для дистанционного зондирования Земли, таких как: сохранение геометрических параметров объектов; уменьшение риска столкновения МКА с микрометеоритами; меньшая стоимость создания и отработки; повышение точности навигации; меньшая деградация мощности фотоэлементов солнечной энергоустановки из-за меньшей радиации. Для непрерывного получения и обмена информацией с помощью многоспутниковой системы необходима одновременная видимость с любой точки Земли трёх, а лучше четырёх МКА под углами над местным горизонтом. Функционирование такой системы накладывает жёсткие ограничения на условия нахождения МКА в различных плоскостях и на их взаимные углы визирования, кроме того, для экономической эффективности необходимо, чтобы срок активного существования МКА был не менее 5 лет (Ашманец В.И., и др., 1997).

При использовании электроракетного двигателя (ЭРД) необходимо учитывать тот факт, что это двигатель малой тяги, поэтому применение такого двигателя предполагает значительную длительность выведения. Использование ЭРД влечёт за собой проблему выбора режимов работы двигательной установки. При использовании химических двигателей на борту МКА этапы изменения характеристической скорости рассматриваются в импульсной постановке, при этом методики расчёта оптимальных импульсных манёвров не вызывают трудностей, межорбитальные переходы такого рода подробно описаны ранее (Охоцимский Д.Е., и др., 1990). В случае применения на борту МКА ЭРД большую роль играет обеспечение оптимального управления двигательной установкой.

Характер движения МКА зависит от участка траектории орбитального полёта, на котором он находится и от программы полёта. Необходимая траектория орбитального движения МКА реализуется путём последовательного включения режимов работы системы ориентации, то есть сеансами ориентации. Сеансы ориентации в общем случае складываются из элементарных режимов таких как: успокоение космического аппарата, закрутка; поиск ориентира; приведение ориентации к заданной; поддержание заданной ориентации; программные повороты; смена ориентиров (перехват) (Максимов Д.А., и др., 2022). Основными требованиями к системе реактивных двигателей ориентации являются: минимальные габариты и вес; многорежимность работы; точные значения тяг и единичных импульсов; высокая надёжность работы; простота и удобство в эксплуатации.

При развёртывании такой многоспутниковой системы используется групповая схема выведения на орбиту, при этом возможно использование кластерного принципа построения орбитальных группировок МКА для размещения целевой аппаратуры по нескольким МКА. При такой схеме возникает требование смещения акцентов в системе управления с

управления одним МКА на управление группировкой как сложной системой распределённой обработки информации (Гончаренко В.А., и др., 2022).

### **Регенерация кислорода на борту обитаемого космического аппарата**

Лысенко Г.П., Назаренко И.П.

МАИ, г. Москва, Россия

При длительных космических полетах, для одного члена экипажа требуется около 300 кг кислорода в год. При этом становится актуальной задача о возвращении кислорода в систему обеспечения жизнедеятельности из углекислого газа, образовавшегося при дыхании.

Для решения этой задачи, предлагается следующая последовательность процессов. Используемая воздушная смесь, содержащая углекислый газ пропускается через поглотитель углекислого газа на основе оксида кальция с образованием углекислого кальция. Затем углекислый кальций подвергается термической обработке с целью выделения углекислого газа. Этот газ смешивается с водородом и поступает в область электрического разряда. В нагретой водородной плазме молекулярный водород распадается на атомарный, который отнимает кислород у молекул углекислого газа с образованием молекулы воды. Образовавшиеся пары воды конденсируются в холодильнике и затем поступают в электролизер, в котором вода разлагается на водород и кислород. Водород возвращается в область электрического разряда, а кислород поступает в систему обеспечения жизнедеятельности. Таким образом, водород в данном процессе не расходуется, а играет роль катализатора.

В целом, для работы такого устройства требуется только электроэнергия, необходимая для нагрева углекислого кальция, для питания водородного плазматрона и электролизера.

### **Расчет контактного термического сопротивления в области низких температур**

Меснянкин С.Ю., Пронькина И.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В процессе разработки современных летательных аппаратов и энергетических установок космического назначения приходится решать комплекс задач, направленных на повышение их эффективности. С развитием техники неуклонно растет теплонапряженность оборудования, и соответственно тепловая нагрузка на конструктивные узлы изделий. Все это приводит к необходимости в охлаждении и даже криогенизации теплонапряженных узлов. Часто, в виду конструктивной особенности изделия, охлаждение поверхностей осуществляется через соединения, имеющие между собой механический контакт, что вызывает дополнительные потери температурного напора в местах неидеального соединения контактирующих поверхностей вследствие дискретности контакта, сужения и удлинения линий теплового тока.

Описанные процессы неплохо изучены в области высоких температур, а в области криогенных температур исследований гораздо меньше, при этом приведенные результаты иногда противоречивы. В связи с отмеченным в работе детально исследуется поведение контактирующих поверхностей в области криогенных температур.

Установлены отличительные признаки теплового контактирования металлических поверхностей в области низких температур, к числу которых отнесены:

- упрочнение материала;
- аномальное поведение коэффициентов линейного расширения;
- различный вклад фононов и электронов в теплопроводность.

В работе анализируется вклад каждой составляющей в суммарную тепловую проводимость на примере контактной пары титан-титан и выполнено сопоставление с известными аналитическими зависимостями. Задача решалась в объемном виде, а именно получена картина микронеровностей внешнего слоя образца, базируемая на алгоритме трехмерного моделирования шероховатости поверхности в программном комплексе конечно-элементарных расчетов ANSYS.

Результаты работы с большей определенностью и точностью позволяют спрогнозировать поведение составных конструктивных элементов в области низких температур.

1. Меснянкин С.Ю., Ежов А.Д., Басов А.А. «Определение контактного термического сопротивления на базе трехмерного моделирования соприкасающихся поверхностей». Известия РАН. Энергетика. 2014

2. Меснянкин С.Ю., Диков А.В. «Расчет термического сопротивления контакта элементов энергетических установок с волнистыми поверхностями». «Труды МАИ». Выпуск № 81, 2015

3. Меснянкин С.Ю., Диков А.В. «Численный расчет теплового контактирования твердых тел. От моделей до реальных поверхностей». Тепловые процессы в технике. Т.6. № 5., 2014

4. Ежов А.Д. «Численное решение задачи контактного взаимодействия шероховатых поверхностей энергетических установок». «Вестник Московского авиационного института». Т.23. №1., 2016

5. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. «Титановые сплавы. Состав, структура, свойства» - М.: ВИЛС – МАТИ, 2009

6. Reji Joseph, Jophy Peter, S. Sunil Kumar, N. Asok Kumar. «Effect of thermal and load cycle on thermal contact conductance across dissimilar joints at cryogenic temperature». Applied Thermal Engineering., 2016

7. Reji Joseph, N. Asok Kumar, S. Sunil Kumar. «Effect of interstitial compounds in controlling thermal contact conductance across pressed joints at cryogenic temperature and low contact pressure». Applied Thermal Engineering., 2021

### **Моделирование теплообмена излучением в камере сгорания ЖРД малой тяги**

Мигдалова С.Д., Боровик И.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Анализ теплообмена в камерах сгорания ЖРД малой тяги является ключевым в процессе проектирования. Актуальность исследования теплообмена обусловлена проблемой увеличения удельного импульса и повышения эффективности рабочего процесса в камере. Конвективный тепловой поток зависит от давления, тепловой поток излучением зависит от температуры в четвёртой степени, следовательно, при меньшем давлении, которое реализуется в КС ЖРД малой тяги, доля теплообмена излучением от общего теплообмена будет выше. Из-за высоких значений температуры внутри КС лучистый перенос тепла может составить значительную часть от общего теплообмена в ЖРД малой тяги и должен учитываться в потоках с высокой температурой и высокой энтальпией.

В данной работе проводилось моделирование внутрикамерных процессов экспериментального ракетного двигателя ДМТ-МАИ-200М с помощью программного комплекса вычислительной гидро- и газодинамики ANSYS CFX. Исследовалось влияние диффузионной модели P1 теплопереноса излучением со спектральными моделями «взвешенной суммы серых газов» (WSGG) и серого тела (Gray) и модели турбулентности  $k-\omega$  обобщённой (GEKO – Generalized  $k-\omega$ ) на результаты моделирования течения, горения, конвективного теплообмена и теплообмена излучением в КС. Спектральное приближение WSGG моделирует 4 спектральные полосы как 4 серых газа с весовыми факторами излучений. Влияние модели турбулентности исследуется посредством вариации коэффициента CSEP от 0,5 до 2 и постоянных значений турбулентного числа Прандтля от 0,25 до 0,9. Химические реакции моделировались с помощью модели горения тонкого фронта пламени PDF Flamelet, для предварительного построения библиотек которой был использован кинетический механизм  $\text{CH}_4/\text{O}_2$  с 55 реакциями и 12 веществами.

Максимальные значения теплового потока наблюдаются в критическом сечении и в зоне присоединения скачка. Наибольшие тепловые потоки в критике наблюдаются при меньших значениях CSEP и меньших значениях турбулентного числа Прандтля. При смещении скачка к срезу сопла (при меньших CSEP) пик теплового потока возрастает и смещается к срезу, суммарный тепловой поток увеличивается. Применение модели излучения со спектральным приближением WSGG увеличивает интегральный тепловой поток значительно, чем с серым приближением. Увеличивается температура внутренней стенки КС до критики и уменьшается после.

Наиболее близкие к экспериментальным значения давления в КС получены при сочетании меньших значений  $CSEP = 0,7$  (при меньших значениях ухудшается сходимость задачи) и  $Prt = 0,25$ . В этом случае при применении модели WSGG получена наиболее близкая к экспериментальной максимальная температура внешней стенки – в критическом сечении. В расчётных случаях, наиболее близких к экспериментальным данным доля теплового потока излучением от суммарного теплового потока составила от 6,5% до 10%. Спектральное приближение WSGG даёт результат более близкий к экспериментальным данным, чем серое приближение.

Совмещая настройки параметров модели турбулентности, турбулентного числа Прандтля и модели излучения можно существенно улучшить точность результатов моделирования процессов горения и сопряжённого теплообмена.

### **Математическая модель системы регулирования работы компрессора газотурбинного двигателя в сосредоточенных параметрах**

Минин А.К.

МАИ, г. Москва, Россия

Протекающий в проточной части компрессора в составе газотурбинного двигателя (ГТД) поток рабочего тела во время эксплуатации может иметь неравномерное поле своих газодинамических параметров, таких как полная температура, полное давление etc. Такая неравномерность поля параметров потока рабочего тела сильно влияет на устойчивость работы компрессора ГТД [1-3]. С целью расширения диапазона режимов работы компрессора ГТД в условиях неравномерного поля параметров потока была поставлена задача разработать систему регулирования компрессора.

При построении математической модели применялся метод связанных графов, который заключается в разбиении объекта моделирования на компоненты и элементы и их представлении как вершин графа, в которых происходит преобразование, накопление или диссипация энергии. Между собой элементы связаны двунаправленными связями, произведение параметров в которых даёт поток мощности в элемент [4-5]. Применительно к построению математической модели компрессора ГТД необходимо выделить следующие элементы: сечение межлопаточного канала статорных лопаток – инерционный элемент, конечный объем – ёмкостной элемент, рабочие лопатки компрессора как элемент преобразования энергии по заданному закону.

Были построены математические модели регулирования работы компрессора двух видов: моделирование поворота лопаток направляющих аппаратов компрессора и моделирование перепуска воздуха. Моделирование поворота лопаток выполнялось с помощью изменяемого поперечного сечения, а перепуск воздуха – с помощью изменения граничного условия расхода рабочего тела в конечном объеме перед компрессором. С помощью независимого регулирования поворотом лопаток по секторам компрессора удалось снизить значения неравномерности поля параметров на 4.7%, повысить запас газодинамической устойчивости на 5.34%. Для системы регулирования перепуском воздуха удалось снизить неравномерность на 6.76%, повысить запас газодинамической устойчивости на 6.84%.

Литература:

1. Jia Li, Xu Dong, Dakun Sun, Ruize Xu, Xiaofeng Sun Response and stabilization of a compressor restricted by rotating inlet distortion two-stage axial flow // Chinese Society of Aeronautics and Astronautics & Beihang University (2021), 34(9)
2. Aiguo Xia, Xudong Huang, Wei Tuo, Ming Zhou Experimental study of a controlled variable double-baffle distortion generator engine test rig // Chinese Society of Aeronautics and Astronautics & Beihang University Chinese Journal of Aeronautics №31(9) (2018)
3. Краснов С. Е. Математическое моделирование процессов нарушения устойчивости течения ГТД // Авиационные двигатели, ЦИАМ им. П. И. Баранова
4. Воронин А. В. Моделирование мехатронных систем: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. - XXX с.
5. Peter J. Gawthrop; Geraint P. Bevan Bond-graph modeling // IEEE Control Systems Magazine 27(2), 24-45

**Стохастический подход к определению эталона массы в свете резолюции 26-й  
Генеральной конференции по мерам и весам**

Мирзоян И.Н., Батанов М.С., Мартынов И.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Решения 26-й Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ), посвященной «Пересмотру Международной системы единиц (SI)», подвели итог под реализацией программы по «невещественным» определениям эталонов основных физических величин.

Начиная с 20 мая 2019 г. для реализации нового определения единиц измерений необходимо использовать любые уравнения физики, которые связывают между собой массу, постоянную Планка  $h$ , скорость света в вакууме  $c$ , частоту сверхтонкого перехода основного состояния атома цезия-133  $\nu_{Cs}$ , элементарный заряд  $e$ , постоянную Больцмана  $k_B$  постоянной Авогадро  $N_A$ .

Одним из основных направлений реализации эталона массы на основе нового определения SI является развитие двух проектов «Баланс Киббла» и «Подсчет атомов в квази-идеальном шаре из кремния-28 ( $^{28}\text{Si}$ )» (далее «Подсчет атомов»).

Оба вышеуказанных проекта являются несомненным прогрессом в области практической метрологии, т.к. их точность на порядок повышают точность международного прототипа килограмма, хранящегося в Международном бюро мер и весов. Так же эти проекты являются воспроизводимыми в любой лаборатории мира на основании вышеуказанных фундаментальных физических принципов и фиксации числовых значений констант  $h$  и  $N_A$ .

Вместе с тем, эти проекты имеют ряд недостатков.

Баланс Киббла являются одним из самых сложных измерительных комплексов в мире, т.к. кроме использования сверхпроводникового эффекта Джозефсона и квантового эффекта Холла, необходимо с высокой точностью измерять скорость  $v$  перемещения катушки в равномерном магнитном поле, а также ускорение свободного падения  $g$  в месте размещения ватт-баланса.

К недостаткам кремневого шара, относится возможность загрязнения его поверхности. Кроме того, кристаллы  $^{28}\text{Si}$  никогда не бывают совершенными и моноизотопными. Поэтому необходимо учитывать поправки: на содержание примесей, на дефекты кристаллической решетки  $^{28}\text{Si}$  (вакансии и междоузлия), на образование оксидной пленки, на физическую и химическую адсорбции (т.е. поглощенная) молекул воздуха поверхностным слоем кремневого шара. Также необходимо учитывать дефект массы, связанный с учетом энергии связи атомов монокристалла  $^{28}\text{Si}$ .

В данном докладе предлагается иной, стохастический подход к определению эталона массы, который основан на связи отношения основных усредненных характеристик стационарного случайного процесса с отношением постоянной Планка к массе частицы, участвующей в этом процессе.

В частности, предлагается использовать возможность выражения отношения постоянной Планка к массе частицы через отношение основных усредненных характеристик гауссова стационарного случайного процесса: удвоенной дисперсии к коэффициенту автокорреляции этого процесса.

В качестве реализации данной идеи рассмотрена теоретическая возможность использования теплового шума в качестве гауссова стационарного случайного процесса.

В результате показано, что можно принять в качестве эталона массы величину, соответствующую термодинамической температуре, реперной точки температурной шкалы, например, точке кристаллизации алюминия  $T_i = 933,473 \text{ K}$ .

Не исключено, что создание теплорезистивных полупроводниковых ампер-весов окажется не менее сложным и дорогостоящим проектом, чем ватт-баланс Киббла. Однако надежду на успех вселяет то обстоятельство, что предложенному методу меньше параметров, подлежащих измерению и контролю. Кроме того, измерение магнитной тяги в теплорезистивном методе проводится в один этап, а весах Киббла фиктивная мощность получается в два этапа.

## **Обратная задача теории сопла с учетом свойств реального потока**

Мкртчян М.К.

МАИ, г. Москва, Россия

Одним из основных методов программирования энергетических показателей ракетных двигателей, а также их проектирования и разработки признана вычислительная газовая динамика.

В настоящее время основу вычислительной газовой динамики составляет решение уравнений Эйлера для вычисления параметров потока газа в сверхзвуковом сопле.

Данный метод применяется для описания идеальных условий и несет за собой ряд допущений. К таковым относятся отсутствие членов, учитывающих вязкость и сжимаемость, необходимых для описания реальных условий и как следствие, вынужденно устанавливаются граничные условия симметрии и непротекания, которые создают искаженную картину истечения. Условие непротекания приводит к появлению на стенке соосностей, соразмерных с ядром потока, что нельзя отнести к реальному случаю.

Таким образом в целях устранения выявленных недостатков предлагается решать задачу параметров течения в сверхзвуковом сопле с учетом реальных условий протекания процессов методом применимых уравнений движения для ламинарного потока с граничными условиями прилипания и сопровождения, удовлетворяющие свойствам реального потока, где скорости на стенке сопла соответствуют действительным показателям. Данный подход учитывает потери на трение и появляется возможность применения для более точного профилирования сверхзвуковой части сопла.

Литература:

1. Кочетков Ю.М. Турбулентность сверхзвуковых течений // Двигатель. – 2013. – №2. – С. 48-50.
2. Мкртчян М. К., Кочетков Ю. М. Расчет газодинамических характеристик жидкостного ракетного двигателя для ламинарных течений // Вестник МАИ. 2021. Т. 28. № 2, С. 166-176.

## **Исследование параметров и конструкции современных и перспективных газотурбинных двигателей и энергоустановок сложных циклов**

Нестеренко В.Г., Шеметовец А.А., Юсипов Б.Х., Ардатов К.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассмотрены конструкции и параметры современных и перспективных отечественных и иностранных двухконтурных и трёхконтурных ТРДф, их газогенераторов (ГГ), турбин каскада высокого давления (ТВД) и вентилятора (ТНД). На основании полученных результатов исследований сформулировано несколько актуальных направлений работ по совершенствованию их конструкций, разработке методики повышения экономичности и их эксплуатационной технологичности. Как известно, проектирование и доводка современных ГГД представляет собой сложный и длительный этап по их созданию, однако, эти затраты компенсируются тем, что при модернизации имеющихся и создании новых двигателей может использоваться один и тот же, доведенный ранее, базовый ГГ. Разработана усовершенствованная система охлаждения рабочих лопаток ТВД ГГ, обеспечивающая повышение экономичности перспективных ТРДф на крейсерском режиме полёта их летательного аппарата (ЛА), а также методика расчётной оценки снижения уровня осевых сил, действующих на его упорный подшипник.

Исключительно актуально решение проблемы разработки и эксплуатации не охлаждаемых турбин с керамическими лопатками соплового и рабочего колеса, работающими при температуре газа на входе в турбину порядка 2000...2200К. Работы в этом направлении ведутся, в иностранных двигателях 6-го поколения такие лопатки применяются. Представлены особенности проектирования профильной и замковой части таких лопаток, учитывающего требования прочности, а также примеры их конструктивных особенностей, связанных с отсутствием пластичности в этих материалах.

С целью повышения эксплуатационной технологичности С с ГГД был проведен анализ конструкции модулей и блоков высоконапорных регулируемых компрессоров, камер сгорания, высокотемпературных турбин ГГ, а также ТНД, с не поворотным и поворотным

сопловым аппаратом, без которого нельзя реализовать конструкцию перспективного трёхконтурного ТРД с форсажом, типа ХА 100 GE и ХА 101 PW. Узлы горячей части ГТ авиационного ГТД, камеры сгорания и ТВД, должны быть модульными, поскольку они имеют наибольшую повреждаемость, по сравнению с узлами его холодной части. Оптимизация числа и состава модулей отечественных ГТД в значительной степени зависит от возможности оптимизации обвязки, в частности, следует избавиться от множественного числа отдельных агрегатов и выбрать их расположения на наружном контуре, его верхней или нижней половине.

Работоспособность и эффективность трёхконтурных ГТД во многом зависит от успехов в создании поворотного соплового аппарата турбины вентилятора и уровня снижения его КПД из-за возможного появления значительных перетечек газа по торцам этих лопаток при их повороте. Авторами разработано несколько вариантов конструкции поворотного бесполочного соплового аппарата ТНД, однако окончательное заключение о работоспособности этих конструкций можно будет сделать только на основе их экспериментального исследования.

Подробно рассмотрены технические задачи, решаемые при проектировании и изготовлении рекуперативных ГТУ, разной интенсивности подогрева закомпрессорного воздуха в рекуператоре. Показано влияние термодинамических параметров газа на входе в рекуператор на снижение величины удельного расхода топлива ГТУ и способы повышения эффективности пластинчатых и трубчатых рекуператоров в зависимости от способов интенсификации теплообмена в их каналах, а также при изменении габаритных и массовых характеристик рекуператора с учётом изменения исходных величин степени рекуперации.

#### **Исследование влияния узлов с изменяемой геометрией на характеристики двухконтурного турбореактивного двигателя для сверхзвукового пассажирского самолёта**

Нагин П.В., Фокин Д.Б., Эрохи Ю.А., Каленский С.М.  
ЦИАМ, г. Москва, Россия

Одной из проблем при разработке силовой установки (СУ) сверхзвукового пассажирского самолёта (СПС) является сложность одновременного удовлетворения ряду противоречивых требований на различных участках полёта летательного аппарата (ЛА), среди которых:

- низкий удельный расход топлива при дозвуковом и сверхзвуковом крейсеровании;
- высокие значения располагаемой тяги на взлётных и трансзвуковых режимах полёта;
- низкий уровень шума в районе аэропорта, удовлетворительный ресурс и др.

В поисках наилучшего способа выполнения требований, предъявляемых к СУ СПС, во всём мире исследуются двигатели изменяемого цикла (ДИЦ) с увеличенным количеством регулируемых элементов [1].

В данной работе исследуется возможность улучшения тягово-экономических характеристик двухконтурного турбореактивного двигателя [2] СПС с заданными параметрами на трансзвуковом и крейсерском сверхзвуковом режимах полёта путём широкого регулирования проточной частью двигателя за счёт применения узлов с изменяемыми геометрическими параметрами.

Для оценки потенциального улучшения характеристик двигателя и определения вклада отдельных регулируемых узлов были проведены исследования, включающие, помимо параметрических и статистических исследований, решения нескольких многокритериальных задач оптимизации.

В качестве варьируемых геометрических параметров двигателя рассмотрены: углы поворота направляющих аппаратов вентилятора и компрессора высокого давления, площади критических сечений сопловых аппаратов турбин высокого и низкого давления, соотношение площадей сечений контуров на входе в камеру смешения и площадь критического сечения сопла. Критериями эффективности выступали удельный расход топлива на сверхзвуковом крейсерском режиме при заданной температуре газа и значение располагаемой тяги на трансзвуковом режиме полёта.

В результате проведенных исследований показано возможное улучшение характеристик рассматриваемого двигателя за счёт различных сочетаний узлов с изменяемыми геометрическими параметрами.

В дальнейшем целесообразно продолжить подобные исследования для двигателей с различными проектными параметрами в составе СУ СПС по критериям эффективности летательного аппарата, включая взлётные и акустические показатели.

Литература:

1. Denney R.K., Tai J.C., Kestner B.K., Marvis D.N. Variable cycle optimization for supersonic commercial applications // SAE Technical Papers. 2005. doi: 10.4271/2005-01-3400
2. Эзрохи Ю.А. Моделирование двигателя и его узлов. // Машиностроение: энциклопедия. Т. IV-21. Кн. 3. Авиационные двигатели. М.: Машиностроение, 2010. С. 341-353.

### **Разработка программы расчета шума планера для задач многодисциплинарной оптимизации силовой установки магистральных самолетов**

Олесова Н.И., Мирзоян А.А., Халецкий Ю.Д.

ЦИАМ, г. Москва, Россия

На раннем этапе проектирования перспективных самолетов гражданской авиации с применением методов многодисциплинарной оптимизации (МДО) необходимо учитывать широкий круг показателей их эффективности, в том числе акустические характеристики. В задачах согласования силовой установки (СУ) и летательного аппарата (ЛА) необходимо детально учитывать шум планера в общем создаваемом шуме самолета на местности. Это стало особенно актуально в связи с тем, что применение СУ на базе двухконтурных турбореактивных двигателей (ТРДД) с повышенной степенью двухконтурности, малозумными вентиляторами и использование других способов шумоглушения значительно снизили уровень шума двигателя, тем самым изменив долю шума планера в суммарном шуме самолета на местности [1]. Особенно важно определение уровня шума планера на режиме захода на посадку, при котором двигатель работает на малом газу, и планер может быть доминирующим источником шума самолета.

В шуме планера магистральных самолетов (как средне-, так и дальнемагистральных) основным источником шума чаще всего является шум шасси, что связано с их габаритами и количеством колес в опоре, поэтому в данной работе основное внимание уделено именно шуму шасси.

Программа оценки шума шасси магистральных самолетов для решения задач МДО СУ разработана [2] с использованием известной полуэмпирической методики [3]. Особенностью данной методики является ограниченный набор требуемых исходных данных, относительная простота из-за использования законов масштабирования теории генерации шума и соотношения этих законов с экспериментальными данными, что позволяет ее успешно использовать для расчетов на этапе концептуального проектирования. Валидация методики и разработанной программы произведена по данным испытаний в аэродинамической трубе шасси самолета Boeing-737, а также данными летных испытаний самолета Boeing-777.

Проведена настройка реализованной программы расчета шума шасси, ее отладка и показана адекватность расчета на примере существующего дальнемагистрального самолета с ТРДД. В работе была также проведена оценка применимости разработанной программы для анализа влияния шума шасси различных вариантов компоновок СУ ЛА на ранних этапах проектирования самолетов и решения задач МДО.

Литература:

1. Халецкий Ю.Д. Некоторые тенденции современной аэроакустики // Авиационные двигатели. 2020. №3 (8). С. 69-81.
2. Свидетельство №2022685618 от 26 декабря 2022 года о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа прогнозирования основных источников шума планера для оценки шума перспективных магистральных самолетов». Авторы: А.А. Мирзоян, С.И. Баева, Р.Р. Нигматуллин, Н.И. Олесова, Я.С. Почкин, Ю.Д. Халецкий, правообладатель: ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова».

**Газодинамическая оптимизация элементов компрессора низкого давления с использованием цифровой платформы CML-BENCH®**

Орлов И.Д., Гордеев А.А., Усов Д.В., Шенгальс А.А., Себедев А.А.  
СПбПУ, г. Санкт-Петербург, Россия

В данной работе рассмотрена задача оптимизации компрессора низкого давления с целью повышения КПД компрессора. По условию постановки задачи необходимо было сохранить запас газодинамической устойчивости (ГДУ) на режимах от 0,2N до номинала, а также степень повышения давления  $\pm 1\%$  и расход воздуха  $\pm 1\%$  от номинальных значений.

Для решения поставленной задачи применялось приложение многомерной нелинейной оптимизации IOSO вместе с параметрическим профилятором Numeca AutoBlade, блочно-структурированным сеточным генератором Numeca Autogrid и решателем Ansys CFX. Для обеспечения использования высокопроизводительных вычислительных мощностей все расчеты проводились с использованием платформы разработки и применения цифровых двойников CML-Bench®.

В расчетной модели была выбрана модель турбулентности k- $\epsilon$ . Использовалась расчетная сетка размерности 0,2...0,3 млн. узлов на венец, со средним значением параметра  $Y^+ < 5$ , что согласуется с исследованиями сеточной сходимости данного компрессора [1], и соответствует рекомендациям Numeca AutoGrid [2].

Для оптимизации были выбраны первые пять ступеней компрессора. В них варьировались углы входа и выхода  $\beta_1$  и  $\beta_2$  лопаток, а также угол установки профиля  $\gamma$  в 3 сечениях – в корне, в среднем сечении и на периферии.

По результатам оптимизационных расчетов были выбраны несколько точек – кандидатов, удовлетворяющим критериям оптимизации. Для точек – кандидатов были проведены дополнительные поверочные расчеты на режимах 0,2N, 0,8N и 1N с целью определения запасов ГДУ. В итоге была выбрана финальная геометрия, для которой прирост КПД составил 1%.

При сравнении результатов расчетов на 3, 4 и 5 ступени исходного и оптимизированного компрессоров прослеживается уменьшение скачка уплотнения на рабочей лопатке 3 и 4 ступени.

По результатам оптимизации был увеличен КПД компрессора на 1% в рабочей точке, и увеличен запас ГДУ на частотах 0,8N – на 5%, при сохранении запаса ГДУ на режиме 0,2N.

Для полученной геометрии оптимизированного компрессора был проведен расчет характеристики.

Литература:

1. Sebelev A. [и др.]. Effect of the Rotor Blades Part Span Shrouds on the Transonic Axial Compressor Operation Map // Journal of Physics: Conference Series. 2020. (1670). С. 012015.
2. Numeca: [сайт]. URL: <http://www.numeca.com/home/>

**Выполнение работ по дооснащению УНУ «Заглушенная камера с потоком АК-2» системой подогрева потока**

Остриков Н.Н., Копьев В.Ф., Батура Н.И., Макашов С.Ю.  
ФАУ «ЦАГИ», г. Жуковский, Россия

Проект посвящен дооснащению УНУ АК-2 системой подогрева потока с целью обеспечения возможности проведения разработок технологий снижения шума высокоскоростных горячих струй при наличии спутного потока. Целевым показателем является возможность реализации температуры торможения  $T^*=600\text{о С}$  при числе Маха потока  $M=2$ .

В 2021 году была выполнена разработка системы подогрева воздуха контура низкого давления для модернизируемой УНУ АК-2, по результатам которой был разработан проект дооснащения системой подогрева воздуха, включающий в себя, в том числе, проект

модернизации системы электроснабжения, проект по замене звукопоглощающих клиньев, проект системы обеспечения пожаробезопасности. При разработке проекта были выполнены численные расчеты по определению установившегося поля температуры в заглушенном помещении после запуска горячей струи, показавшие необходимость внешнего притока холодного воздуха для обеспечения безопасной работы установки. Результаты расчетов потребного расхода эжектируемого холодного воздуха валидированы на основе испытания холодной сверхзвуковой струи на УНУ АК-2. Полученные результаты определяют эксплуатационные процедуры при проведении испытаний горячих струй.

В 2022 году были изготовлены и закуплены основные составляющие создаваемой системы подогрева воздуха, в том числе, была проведена модернизация системы электроснабжения УНУ АК-2 и частичная замена звукопоглощающих клиньев.

Первые эксперименты, проведенные на УНУ АК-2 в первой половине 2023, показали существенную зависимость излучаемого шума от температуры потока высокоскоростной струи.

Таким образом, к концу 2023 года в ЦАГИ будет создан новый инструмент исследования аэроакустических характеристик высокоскоростных горячих струй. Более того, создаваемая система подогрева воздуха будет уникальной среди аналогичных установок в ведущих авиационных центрах, поскольку появится возможность исследовать в заглушенной камере двухконтурные неизотермические струи при наличии спутного потока. Введенная в строй система подогрева воздуха на УНУ АК-2 позволит повысить Уровень Готовности Технологий, создаваемых в ЦАГИ в области аэроакустики в интересах отечественных конструкторских бюро.

Настоящая работа выполняется в период 2021-2023 годов в рамках Соглашения № 075-11-2021-066 о предоставлении гранта в форме субсидии от 03 сентября 2021 года между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и ФАУ «ЦАГИ».

#### **Динамическое влияние стенового оборудования на результаты испытаний вертолетного редуктора**

Петрова Е.Н., Пшеничный В.В., Сальников А.Ф.  
ПНИПУ, г. Пермь, Россия

При проектировании и обработке перспективных изделий обычно присутствуют новые элементы, которые вводятся с целью улучшения его характеристик, получения более высоких эксплуатационных качеств изделия или решения конкретных тактических задач. Эти элементы и конструктивные решения требуют изучения протекающих в них динамических процессов.

АО «Редуктор-ПМ» разработан и изготовлен стенд, предназначенный для испытания входного редуктора и главного вала. Объекты испытания являются прототипами критических элементов разрабатываемого главного редуктора вертолета, поэтому к ним предъявляются особые требования.

Важным фактом в проведении испытаний является то, что испытуемый агрегат находится в механическом взаимодействии с испытательным стендом, в том числе получает наведенные вибрагрузки, поэтому следует рассматривать взаимодействующие элементы как единую систему редуктор-стенд.

Цель данного исследования направлена на выявление и принятие определенных решений, позволяющих устранить или снизить негативное действие конструкторско-технологических решений, которые выявляются лишь на стадии стендовых испытаний.

При вибродинамическом исследовании как данного стенда, наблюдаются характерные картины взаимодействия агрегатов стенда с испытуемыми изделиями, однако зачастую при анализе вибрационного сигнала точное определение его источника оказывается затруднительным ввиду схожести амплитудно-частотных характеристик стендовых агрегатов с аналогичными характеристиками испытуемого редуктора.

С целью повышения эффективности анализа вибродинамического взаимодействия в системе редуктор-стенд с возможностью определения коэффициентов влияния выбранного

источника вибрации в конструкции стэнда на испытуемый редуктор разработана математическая модель.

Верификация модели выполняется путем сопоставления расчетных значений виброускорений в точках замера с экспериментальными параметрами.

В дальнейшем разработанная математическая модель может быть использована для расчетного определения влияния выбранного источника вибрации на испытуемый агрегат в заданной точке измерения.

Литература:

1. Пшеничный В.В., Сальников А.Ф. Анализ виброционного состояния редукторов энергоблоков Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 4. С. 96-106.

2. РД 34.21.306-96. Методические указания по обследованию динамического состояния строительных конструкций сооружений и фундаментов оборудования энергопредприятий. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294847/4294847212.htm> (дата обращения: 01.02.2018).

3. Ширман А. Р., Соловьев А. Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. М.: Наука, 1996. 276 с.

### **Численное моделирование процесса дробеударной обработки материалов используемых при производстве деталей ДЛА**

Пожидаев А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Дробеударная упрочняющая обработка представляет собой процесс поверхностного пластического деформирования поверхности материала при помощи стальной, чугунной или керамической дроби различных размеров и форм, в следствие ударного взаимодействия дроби с поверхностью обрабатываемой детали. Дробь направляется на обрабатываемую деталь в виде потока (потоков), с заданной скоростью и в определённом направлении.

В результате такой обработки обеспечивается повышение сопротивляемости материала обработанной детали усталостному и коррозионным разрушениям в результате наведения в поверхностном слое остаточных сжимающих напряжений, повышения микротвердости и улучшения микрогеометрии поверхностного слоя. Максимальная величина остаточных напряжений сжатия после выполнения дробеобработки может составлять  $(0,5 - 0,7) \sigma_B$  материала обрабатываемой детали, при этом толщина пластически деформированного слоя может доходить до 0,6-0,7 мм.

В связи с тем, что детали двигателей летательных аппаратов, такие как рабочие лопатки компрессоров и турбин, диски и ротора, работают в условиях знакопеременных нагрузок, приводящих к усталостному разрушению и выходу агрегатов из строя, а также в условиях абразивного и окислительного изнашивания, применение дробеударной обработки позволяет добиться наклепа с отрицательными значениями остаточных напряжений в поверхностных слоях деталей, что, в свою очередь, повышает сопротивляемость материалов усталостному разрушению.

В данной работе рассматривается численное моделирование процесса дробеударной обработки образцов из титановых и алюминиевых сплавов. Моделирование производится с помощью метода конечных элементов на основе алгоритма явного динамического анализа (Explicit FEM), реализованного в программном комплексе ANSYS LS-DYNA. Исследуется влияние скорости столкновения дроби и количества ударов на глубину залегания остаточных напряжений, их распределение и значение. Также производится исследование влияния настройки модели на сходимость результатов: значения приведенного размера расчетной сетки образца (размер ячейки к диаметру дроби) и значения коэффициентов используемой модели материала. В работе использовалась пластическая модель материалов Джонсона-Кука для титановых и алюминиевых сплавов, взятая из открытых источников.

1. Лебеденко В.Г. Математическое моделирование процесса формирования геометрических параметров поверхностного слоя и параметров упрочнения при обработке деталей дробью //Advanced Engineering Research. – 2008. – Т. 8. – №. 4-39. – С. 202-212.

2. Ongtrakulkij G. et al. Effects of the secondary shot in the double shot peening process on the residual compressive stress distribution of Ti-6Al-4V //Heliyon. – 2022. – Т. 8. – №. 1.
3. Dounde A. A., Seemikeri C. Y., Tanpure P. R. Study of shot peening process and their effect on surface properties: A Review //International Journal of Engineering, Business and Enterprise Applications (IJEBA). – 2015. – Т. 2. – №. 12. – С. 104-107.
4. Chen J. S. et al. Literature review of numerical simulation and optimisation of the shot peening process //Advances in Mechanical Engineering. – 2019. – Т. 11. – №. 3. – С. 1687814018818277.
5. Dev L. S. D. LS-DYNA®. (rev:7076). – 2016. – С. 870.

### **Испытания авиационной техники на птицестойкость**

Поперечный С.С., Лепешкин А.Р., Ильинская О.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Важную роль в повышении безопасности полетов и подтверждении соответствия конструкции воздушных судов требованиям авиационных правил имеют стендовые испытания элементов летательных аппаратов (ЛА), корпуса вентилятора авиационного двигателя (АД) на небробиваемость с обрывом лопатки, испытания вентилятора АД на птицестойкость и создание на основе полученных результатов конструкций ЛА и АД, устойчивых к обрыву лопатки вентилятора и попаданию птиц и других посторонних предметов.

Изучение образцов зарубежной техники показывает наличие часто встречающихся недостатков, таких как: большая длина ствола пневмопушки (более 8-9 метров); использование в конструкции мембран, повышающих трудоемкость подготовки пушки к выстрелу; большие габариты ресивера пневмопушки. Приводится анализ зарубежного оборудования для испытаний авиационной техники. Особенностью разработанной отечественной пневматической пушки является: короткая длина ствола и расположение ресивера концентрично на стволе, что делает пневмопушку достаточно мобильной и позволяет использовать ее на двигательных и разгонных стендах; наличие быстродействующего клапана, открывающего ресивер; двухканальная система измерения скорости и др.

Исходя из опыта проведения калибровочных и натурных испытаний на специальных и разгонных стендах удалось выявить особенности и разработать требования и рекомендации, которые необходимо учитывать при подготовке и проведении указанных испытаний. Получены результаты исследований параметров стендовых систем при испытаниях элементов ЛА и вращающихся рабочих колес АД на специальных и разгонных стендах.

Проведение стендовых испытаний авиационной техники на птицестойкость позволит не только решать текущие задачи при создании новых конструкций ЛА и АД и их сертификации, но и активно развивать методы расчетов, которые, в свою очередь, снижают требуемый объем испытаний и сроки доводки разрабатываемых изделий.

### **Применение трубопроводных клапанов в маслопроводах и топливопроводах обвязки авиационных ГТД**

Попов Д.В.

МАИ, г. Москва, Россия

При проведении ремонтных работ по замене модулей и отдельных агрегатов ГТД в процессе их эксплуатации требуется осуществить полный слив топлива и масла из трубопроводов, соединяющих отдельные агрегаты между собой и с баками, откуда эти жидкости забираются. Рассматривается одно из возможных технических решений этой задачи при выполнении ремонтных работ, и конструкция, где в разъемы трубопроводов установлены запорные клапаны, позволяющие их разделять на отдельные части перед выполнением ремонта агрегатов, где в местах разъемов установлен штуцер с запорным клапаном. Представлено описание процесса разъединения и герметизации возникающих в процессе этой операции открытых концов трубчатого топливопровода на примере одного сегмента топливопровода, в котором находится снимаемый агрегат.

В предложенной новой конструктивной схеме на обоих концах разъединяемого трубопровода установлены обратные клапаны и резьбовые штуцеры, позволяющие их герметизировать.

Между разделяемыми концами трубопровода устанавливается гибкий элемент с металлической оплёткой и ответной резьбой. Этот гибкий элемент позволяет герметично соединить оба конца разделяемого на отдельные части трубопровода после их рассоединения и съема неисправного агрегата топливной или масляной системы, и также далее, после их соединения при установки новых агрегатов.

Таким образом имеется следующий порядок работ:

- отсоединяются гайки съемного гибкого элемента;
- разъединяются участки трубопровода;
- производится ремонт или замена поврежденного агрегата.

Всё это позволяет закупорить жидкости в отдельных частях трубопровода.

Предложенная конструкция позволяет уверенно закрыть от утечки жидкости разделяемые на части трубопроводы и обеспечивает возможность ремонта или замены отдельных агрегатов в эксплуатации, что также снизит трудозатраты на проведение ремонтных работ.

Литература:

1. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей / под ред. Д.В. Хронина. – М.: Машиностроение, 1989.

2. Пяти томный учебник «Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок», серия «Газотурбинные двигатели». А.А. Иноземцев, М.А. Нихамкин, В.Л. Сандрацкий. М.: Машиностроение, 2008.

3. Раздолин М.В., Сурнов Д.Н. Агрегаты воздушно-реактивных двигателей. Учебное пособие для авиационных вузов. Москва Машиностроение 1973.

### **Тепловой и гидравлический расчет опорных радиальных подшипников скольжения высокооборотного вала перспективного газотурбинного двигателя с использованием теорий кинетики и гидродинамики ротора**

Сводин П.А., Мякочин А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Подшипники скольжения (далее, ПС), эксплуатируемые в составе опор роторов современных авиационных газотурбинных двигателей (далее, ГТД), являются элементами двигателя, подверженными влиянию высоких температурных и силовых нагрузок. В связи с этим, для повышения уровня работоспособности и надежности данного элемента роторной системы двигателя, на стадии проектирования подшипника необходимо учесть влияние всех прилагаемых нагрузок при расчете конструкции ПС.

На сегодняшний день основу существующих методик рабочих параметров ПС составляет гидродинамическая теория смазки [1-4]. Однако, стоит отметить, что при проектировании нестандартных конфигураций ПС для роторов современных и перспективных ГТД, характеризующих высокими значениями частот вращения вала и различных переменных нагрузках, применение гидродинамической теории смазки приводит к необходимости выполнения объемных расчетных работ. Одной из основных проблем, возникающих при расчете по существующим методикам, является установление турбулентного режима течения смазки в зазоре ПС [1,4], характерного для высоких скоростей вращения вала, вследствие чего расчеты по стандартным методикам (ГОСТам) усложняются [1].

По причине отсутствия универсальных методов расчета ПС, расчет ПС с турбулентным режимом течения смазки требует затрат дополнительного интеллектуального труда для поиска решений, которые, в основном, носят исключительно научный характер [4]. В связи с этим, на сегодняшний день становится актуальной задача разработки новых инженерных методов и подходов к определению рабочих параметров ПС на этапе начального проектирования опоры ротора перспективного ГТД.

В данной работе выдвинута и описана гипотеза, что на установившихся режимах работы, обеспечивающих режим устойчивого жидкостного трения, гидродинамические процессы однозначно определяют кинетику ротора. На основании выдвинутого предположения

сформулирован возможный метод гидравлического и теплового расчета рабочих параметров перспективного подшипника скольжения.

Литература:

1. ГОСТ ИСО 7902-1-2001 Гидродинамические радиальные подшипники скольжения, работающие в стационарном режиме. Круглоцилиндрические подшипники. Часть 1. Метод расчета. – Минск, 2002. 31 с.

2. ГОСТ ИСО 7902-2-2001 Гидродинамические радиальные подшипники скольжения, работающие в стационарном режиме. Круглоцилиндрические подшипники. Часть 2. Функции, используемые для расчета. – Минск, 2002. 31 с.

3. ГОСТ ИСО 7902-3-2001 Гидродинамические радиальные подшипники скольжения, работающие в стационарном режиме. Круглоцилиндрические подшипники. Часть 3. Допустимые рабочие параметры. – Минск, 2002. 31 с.

4. Поскрыбышев В.А., Исько А.Б., Тарновский А.И., Герасимов С.В. Разработка модели к определению подъёмной силы масляного клина в подшипниках скольжения. Науч. Жур. Проблемы механики современных машин. ФГБОУ ВПО « БрГУ», г. Братск. 2012, т.1. С. 12-13.

**Учёный, коллега, педагог (к 100-летию профессора Ключковой Лидии Леонидовны)**

Севрук С.Д., Назаренко И.П., Перчёнок А.В., Фармаковская А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В октябре 2023 г. исполнилось 100-лет со Дня рождения доктора технических наук, профессора Лидии Леонидовны Ключковой (03.10.1923–30.10.1996), российского учёного в области энергетических установок космических аппаратов, одного из создателей в МАИ кафедры "Электроракетные двигатели, энергетические и энергофизические установки" – кафедры 208.

После окончания школы Л.Л. Ключкова поступила на факультет "Двигатели летательных аппаратов" МАИ, с которым была неразрывно связана вся её дальнейшая жизнь.

Она была мудрым преподавателем, человеком неиссякаемой жизненной энергии. Своим широчайшим научным кругозором и эрудицией, глубокой теоретической подготовкой, богатейшим практическим опытом Л.Л. Ключкова щедро делилась со студентами не только на лекционных и семинарских занятиях, но и в неформальной обстановке. В воспоминаниях учеников – бывших студентов и аспирантов – Л.Л. Ключкова остаётся – легендарной личностью, талантливым педагогом и принципиальным человеком, не терпящим лжи и несправедливости.

На протяжении всей работы в МАИ Л.Л. Ключкова вела большую научно-исследовательскую работу. Её основные научные интересы были связаны с разработкой новых высокоэффективных химических источников тока, как специального авиационно-космического, так и общепромышленного назначения. Это требовало профессиональных знаний в области химии, поэтому она одной из первых в МАИ инициировала проведение комплексных научно-исследовательских работ совместно кафедрами 208 и "Химии" (ныне кафедра физхимии). По мере надобности к этой работе подключался ряд кафедр и других факультетов. Совместные работы продолжаются и в настоящее время. К научной работе широко привлекались студенты, для которых эта деятельность, по сути, являлась частью учебного процесса. По результатам работ защищено более 10 кандидатских и одна докторская диссертация.

По результатам научных исследований Л.Л. Ключковой опубликовано более 250 печатных работ, в т.ч. ряд учебных пособий и учебник. За свой многолетний труд Л.Л. Ключкова удостоена Премии СМ СССР (1990), Премий им. 25-летия МАИ (1982, 1992), званий "Ветеран труда" и "Ветеран МАИ".

## **Формирование облика гибридной силовой установки на базе малоразмерного газотурбинного двигателя**

Серков В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В данной работе описываются подготовительные работы по созданию авиационной гибридной силовой установки (ГСУ), в которой используется малоразмерный газотурбинный двигатель (МГТД) и обратимая электрическая машина (ЭМ). Разработка ГСУ на базе МГТД производится по параллельной схеме. Такая схема позволяет реализовать ГСУ относительно малой массы и с сохранением жесткой связи МГТД и выходного вала.

В качестве МГТД применен турбостартер ТС-21 со своим встроенным планетарным редуктором. Ключевой задачей стенда является отработка системы управления и различных режимов работы электрической и тепловой машины, как вместе, так и по отдельности.

Работа обратимой электрической машины планируется в двух режимах: электродвигателя для создания момента на выходном валу ГСУ и в режиме генератора для подзарядки аккумуляторных батарей в полете.

Для вывода мощности на один вал планируется применить механический сумматор мощности. Установка представляет собой две машины, механически соединенные посредством шестерен в сумматоре мощности, а также подключающих и отключающих устройств, делающих возможной эксплуатацию ГСУ в различных режимах работы.

Для имитации мощности на выходном валу планируется использовать гидротормоз.

На данном этапе ведутся работы по окончательной компоновке ГСУ, проведены работы по созданию полной 3D модели турбостартера с использованием 3D сканера и САД системы NX. Полученные модели активно используются для моделирования компоновочных решений и взаимосвязи узлов ГСУ. Проведен первичный анализ достоинств и недостатков различных вариантов компоновки ГСУ по параллельной схеме. Критериями оценки являются такие показатели как габаритные размеры, масса, надежность, модульность, удобство эксплуатации и др. Созданная модель будет использована для предварительной оценки теплового состояния МГТД при работе на разных режимах. В рамках данной работы, производится расчет редуктора, применяемого в вышеописанной ГСУ.

Параллельно, в МАИ планируется создание стенда для испытаний ГСУ, который позволит сравнить характеристики узлов ГСУ, полученные теоретическим и экспериментальным путем.

## **Испытательный стенд для гибридной силовой установки с поршневым двигателем и электрическим мотор-генератором**

Сычёв А.В., Коломин И.В., Зинник Д.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Стремительное развитие нового направления двигателестроения, связанное с разработкой гибридных силовых установок (ГСУ) различного типа, ставит перед исследователями задачи поиска оптимальных решений и отработки полученных результатов на предмет соответствия требуемым параметрам по техническому заданию. В Московском авиационном институте (МАИ) ведутся работы по созданию универсального экспериментального стенда, на котором планируется проведение испытаний поршневых двигателей мощностью до 150 л.с. в том числе в составе гибридной силовой установки параллельного или последовательного типа, оборудованной электрическим мотор-генератором. Конфигурация стенда формируется с учетом получения необходимых параметров испытаний исходя из всевозможных компоновочных решений таких ГСУ.

В данной работе рассмотрен вариант стенда для испытаний ГСУ, состоящей из поршневого двигателя РМЗ 500 и мотор-генератора собственной разработки. Область применения такой ГСУ не ограничивается, например, лёгкими летательными аппаратами и аэролодоками. Рассматриваемая гибридная силовая установка, по предварительным данным, должна иметь мощность порядка 70 кВт. Разрабатываемая программа и методика испытаний ГСУ позволит получить на испытательном стенде МАИ характеристики совместной работы поршневого двигателя и электромотора на различных эксплуатационных режимах.

В дальнейшем, планируется благодаря проектируемому испытательному стенду получить необходимый опыт определения характеристик ГСУ, чтобы максимально расширить функционал универсального стенда для проведения последующих испытаний различных конфигураций поршневых двигателей с электрическим мотор-генератором в составе гибридных силовых установок. Всесторонне изучение вновь создаваемых ГСУ на испытательном стенде в МАИ позволит получить статистические данные, необходимые в разработке и эксплуатации гибридных силовых установок, применимый как в учебном процессе при подготовке соответствующих специалистов, так и в практической сфере проектировщиков и производителей подобных силовых установок.

### **Металло-композитный переход в замковых соединениях высоконагруженных энергоустановок, формируемый с использованием низкотемпературного послойного выращивания гетерогенным потоком**

Талалаева П.И., Ежов А.Д., Платонов И.М., Зубко А.А., Киселев В.П.

МАИ, г. Москва, Россия

К современным энергоустановкам предъявляются повышенные требования к прочности и надежности соединений, особенно в условиях высоких температур и механических нагрузок. Один из методов, который позволяет улучшить характеристики замковых соединений в турбине в агрессивных условиях среды, заключается в использовании металло-композитных переходов, формируемых с использованием техники низкотемпературного послойного выращивания гетерогенным потоком [1].

Низкотемпературное послойное выращивание (ЛПСВ) представляет собой процесс, при котором тонкие металлические слои наносятся на поверхность материала при относительно низких температурах. Метод позволяет избежать повреждения композитного материала, что особенно важно при работе с разнородными материалами и создании металло-композитных переходов.

Металло-композитные переходы представляют собой соединения, в которых металлический слой наносится на поверхность материала, обеспечивая прочное и надежное соединение [2]. Использование низкотемпературного ЛПСВ предоставляет уникальную возможность сохранить интегритет матрицы материала. Металло-композитные переходы, созданные с применением ЛПСВ, обладают выдающейся прочностью и надежностью в экстремальных условиях эксплуатации, таких как высокие температуры и интенсивные механические нагрузки [2].

Методика находит широкое применение в области создания защитных покрытий, обеспечивающих сопротивление коррозии и обладающих высокой механической прочностью в агрессивных и экстремальных условиях эксплуатации [3]. Металло-композитные переходы, сформированные с использованием данной концепции, предоставляют возможность создания эффективных теплообменных элементов, обеспечивают дополнительную прочность и могут быть спроектированы с учетом требований к функциональности, такими как теплопроводность, электропроводность и коррозионная стойкость.

Однако, недостаточное соблюдение параметров процесса или проблемы с адгезией между слоями могут привести к возникновению микродефектов. Важно контролировать температуру нанесения, чтобы избежать повреждения композитного материала [4]. ЛПСВ оптимально применять для создания тонких покрытий и мелких структур. Метод ограничивает возможность создания толстых слоев, что следует учитывать, если требуется значительное увеличение массы или толщины покрытия.

Концепция металло-композитного перехода, формируемого с использованием низкотемпературного послойного выращивания гетерогенным потоком, представляет собой многообещающее решение для улучшения прочности и надежности замковых соединений в высоконагруженных энергоустановках. Метод позволяет сохранить целостность материала и обеспечить высокую устойчивость в различных условиях.

1. Kim, S., Ha, S., & Kang, S. (2017). Low-temperature and high-pressure sintering of Cu/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites. *Journal of Materials Science*, 52(4), 1858-1869.

2. Wanberg, J. "Composite Materials: Fabrication Handbook #2". Wolfgang Publications; Illustrated edition (November 15, 2010)
3. Wang, X., Wei, X., & Fu, Y. (2019). Microstructure and mechanical properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Cu composites fabricated by powder metallurgy with Cu-coated Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles. *Journal of Alloys and Compounds*, 771, 340-345.
4. Gokuldoss, P. K., Kolla, S., & Eckert, J. (2017). "Additive manufacturing processes: selective laser melting, electron beam melting and binder jetting—selection guidelines." *Materials Science and Technology*, 33(8), 987-1008.

### **Изучение особенностей термokatалитического сенсора при детектировании водорода**

<sup>1</sup>Талипов В.А., <sup>1</sup>Александр М.Б., <sup>2</sup>Иванов И.И.

<sup>1</sup>МАИ, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ООО «НТЦ ИГД», г. Люберцы, Россия

Водородная энергетика все чаще используется как альтернативный источник энергии для работы двигателей. Топливо из водорода применяется для газотурбинных двигателей в авиационной технике. Однако, при взаимодействии водорода с газовой средой образуется гремучий газ [1]. Во избежание взрывов необходимо детектировать утечки водорода. Для этой цели разработан целый ряд сенсоров, в частности, термokatалитические сенсоры. Актуальность работы заключается в том, что в воздушной среде могут содержаться и другие газы, которые влияют на детектирование самого водорода. Поэтому необходимо подробнее изучить селективное определение водорода в воздухе.

Для быстрого обнаружения водорода в смесях различных горючих газов в статье [2] был предложен способ селективного детектирования водорода термokatалитическими сенсорами компании ООО «НТЦ ИГД». Задачей этой работы была разработка стенда, в результате которого было возможно подавать различные поверочные газовые смеси: углеводороды и водород. Газ подавался в газовую камеру, внутри которой находились сенсоры. Напряжения сенсоров постепенно повышали до 4 вольт интервалом 50 мВ периодичностью в 24,6 секунд, что соответствует диапазону температур термokatалитического сенсора от 20 °С до 586 °С. Таким образом была определена чувствительность сенсоров к газам в широком диапазоне температур. Данные с сенсора через АЦП передавались в компьютер.

Благодаря тому, что водород окисляется при меньших температурах относительно углеводородов, удалось селективно определить водород в смеси из трех газов и примерные значения температур начала каталитического горения газов на катализаторе сенсора. Выявлено, что водород начинает окисляться на сенсоре при температуре окружающей среды, когда сенсор, фактически, не работает.

Исходя из полученного результата можно предположить, что обнаруженный эффект горения водорода возможно использовать для различных целей. Например, термokatалитический сенсор в процессе реакции водорода будет вырабатывать энергию. Также можно сжигать водород, не тратя энергии в таких местах, где невозможно проветрить.

Таким образом, полученный результат может иметь важное значение для практического использования в различных областях водородной энергетике. В ближайшем будущем предполагается изучить обнаруженный эффект более подробно.

Литература:

1. Кирдюшкин Юрий Сергеевич Потенциал водородного топлива гражданской авиации будущего // Научный вестник МГТУ ГА. 2013. №8 (194).
2. Ivan Ivanov, Alexander Baranov, Sergei Mironov, Vladislav Talipov, Hossein Karami, and Gevork B. Gharehpetian // Development of an Approach to Increase Hydrogen Measurement Selectivity. *Sensors and Materials*, Vol. 35, No. 3 (2023) 1045–1057

## **Анализ одномерной методики газодинамического проектировочного расчёта прямоточной камеры сгорания ГТД с технологией богато-бедного горения**

Тарасенко А.Н., Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Камера сгорания (КС) является одним из наиболее сложных для разработки и анализа узлов авиационного ГТД, что связано прежде всего с необходимостью учёта широкого спектра одновременно протекающих физических процессов, большая часть которых при преобразовании их в более простую форму не позволяет сделать однозначное заключение о качестве объекта. Так, например, всю сложность процесса горения можно свести только к получению средней температуры на выходе из КС из термодинамических соображений, что является единственным способом определения параметров для режима при проектировании двигателя. Однако некорректное формирование компоновки основных отверстий КС может привести к целому ряду негативных последствий, например, к преждевременному затуханию пламени и, соответственно, к снижению реальной температуры относительно теоретической, или высокой неравномерности температурного поля на выходе из КС, при которой соответствие по средней температуре будет достигнуто, однако в выходной области будут наблюдаться множественные «горячие» пятна с температурами более 2000 К.

Все эти обстоятельства приводят к необходимости существенно ограничивать процесс проектирования новой КС и использовать при разработке некоторый достаточно хорошо изученный прототип, добиваясь удовлетворения новых требований в части основных и экологических характеристик путем длительной расчётно-экспериментальной доводки. Вместе с тем общеизвестные методики проектирования КС либо существенно устарели, либо не отвечают современным требованиям, а компьютерное моделирование процессов горения для успешного применения требует наличия валидированной в диапазоне рассматриваемых режимов математической модели, что порождает необходимость модернизации существующих методик за счёт обобщения имеющихся расчётных и экспериментальных данных.

Данная работа посвящена вопросу определению критических проблем и алгоритмизации газодинамической составляющей проектировочного расчёта прямоточной КС ГТД с технологией богато-бедного горения, а также верификации получаемого предварительного облика. Составлена блок-схема процесса проектирования, выделены основные вспомогательные блоки, необходимые для достоверного определения распределения воздуха, и проведены проектировочный расчёт по валидированной методике для варианта автономного определения облика КС и поверочный расчёт при помощи компьютерного моделирования с последующим сравнением результатов, продемонстрировавшим необходимость модернизации.

## **Разработка методики расчета теплофизических процессов, протекающих при заправке топливных баков криогенным топливом**

Тлевщежев В.В., Мяочин А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Теплофизические процессы, протекающие в любых криогенных топливных баках, имеют некоторые особенности, значительно затрудняющие их теоретическое описание. Во-первых, эти процессы нестационарные и сопряженные [1,2,3]. Во-вторых, внутрибаковые процессы очень разнообразны по своей физической природе: теплообмен посредством теплопроводности, излучения и конвекции (свободной, вынужденной и комбинированной), различные механизмы массообмена (конвекция и диффузия), испарение и конденсация на поверхности раздела фаз, объемное и поверхностное кипение (пузырьковое, пленочное и переходное) и т.д. [4,5]. Наконец, в-третьих, процессы, определяющие эффективность криогенных баковых систем, значительно различаются на различных стадиях эксплуатации этих систем: захлаживание баков, заправка, предстартовое термостатирование топлива в баках, бездренажное хранение, дренаж, выработка компонента с одновременным наддувом бака и др. В настоящее время существуют и находятся в стадии разработки различные методы расчётно-теоретического прогнозирования внутрибаковых процессов, однако, в силу

перечисленных выше усложняющих факторов, эти методы крайне нуждаются в экспериментальных данных для верификации.

В данной работе рассматривается новый подход к физико-математическому описанию теплофизических процессов, протекающих в водородных топливных баках при их заправке. Подход нацелен на расчет предельного, максимально возможного, расхода газов через дренажную систему, что соответствует случаю постоянного давления в баке в процессе заправки. Данные по предельному расходу можно в дальнейшем использовать в качестве основы при проектировании реальной дренажной системы.

Литература:

1. Куриленко А.А., Краев М.Г., Фирсов В.П. Расчет захлаживания криогенных магистралей. В кн.: Исследование теплообмена в летательных аппаратах (Труды МАИ). М.:1982, с.61-66.
2. Фирсов В.П.//Тепломассообмен-VI. Ч.1. Минск,1980. С. 148-156
3. Кошкин В.К., Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. М. Нестационарный теплообмен, Машиностроение, 1973. 326 с.
4. Беляков В.П. Криогенная техника и технология. М.: Энергоатомиздат, 1982.
- 5.Теплообмен при кипении криогенных жидкостей. Киев: Наукова думка, 1987. 264 с.

### **Численное исследование процессов в восстановительном газогенераторе жидкостного ракетного двигателя на топливе жидкий метан и жидкий кислород**

Тюльков К.В., Боровик И.Н.  
МАИ, г. Москва, Россия

На маршевый двигатель со схемой дожигания восстановительного генераторного газа накладываются жесткие требования по параметрам работы газогенератора: высокие температуры и давления, необходимость глубокого дросселирования [1]. В связи с этим необходимо разработать методику расчетного исследования физическо-химических процессов в реакторе восстановительного газогенератора на разных режимах работы при изменении давления подачи топливных компонентов и изменении рабочей температуры, вызванное изменением соотношения массовых долей компонентов смеси. Процесс химических превращений горючей смеси в исследовании описывался с помощью моделей горения Eddy Dissipation Concept – концептуальная модель распада турбулентного вихря и Flamelet – модель тонкого фронта пламени, с использованием кинетического механизма химических реакций Gri-Mech 30.

В данной работе для моделирования лучистого теплообмена была использована модель P-1. Модель излучения P-1 более простой случай обобщённой модели P-N основанной на распространении интенсивности излучения  $I$  в ортогональном наборе сферических гармоник. Для учета влияния сажи использовалась модель Теснера – Магнуссена. Проведение численного эксперимента, с решением уравнений газовой динамики течения реальных газов и жидкостей, физико-химических процессов сгорания топливной смеси, излучения и эффектов турбулентного перемешивания, позволило получить распределение теплофизических параметров в объеме газогенератора, среднемассовые значения массовой доли сажи и всех газовых компонентов смеси продуктов сгорания, температуры и термодинамических свойств продуктов сгорания. Результатами выполнения расчетных исследований численными методами являются полученные диаграммы зависимостей массовых долей сажи и продуктов сгорания от температуры, давления и соотношения компонентов горючей смеси.

Литература:

1. Аджян А.П., Лёвочкин П.С. Особенности разработки восстановительного газогенератора для метанового многорежимного двигателя.

## Численный анализ шума воздушного винта на местности при угле атаки

Чэнь Болунь

МАИ, г. Москва, Россия

Среди множества работ, посвященных экспериментальным, аналитическим и численным исследованиям шума изолированного воздушного винта можно выделить работы: Л.Я. Гутина, Farassat, Hanson, и В.Ф. Самохина и др. В аналитических работах рассматриваются, в основном, отдельные составляющие шума вращения: либо периодическая составляющая (гармоники шума вращения), либо вихревая составляющая с непрерывным по частоте энергетическим спектром.

Эти прогностические модели, где анализируется полное акустическое излучение, как правило, оперируют изолированным винтом, работающим в невозмущенной окружающей среде без угла атаки, что означает, что нагрузка на лопасть стабильна. Ненулевой угол атаки вызывает нестабильную периодическую нагрузку, когда винт вращается. Нестационарная аэродинамическая нагрузка на лопасти составляющей, оказывающей существенное влияние на энергетические и спектральные характеристики акустического излучения. Экспериментальное исследование Hanson и Parzuch показало, что наличие нестабильной нагрузки на лопасть или угла атаки в направлении полета изменит уровень и направление звукового давления. Угловой приток оказывает большее влияние на вышней гармонике, в то время как нестабильная нагрузка оказывает большее влияние на низкие гармоники. В диссертации Michael Carley приведены всеобъемлющие расчеты воздушного винта во временной области в потоке, которые включают все линейные источники шума, такие как нестационарная нагрузка на лопасть винтов и поток под углом атаки.

В этой работе с помощью Ansys Fluent представлен численный анализ шума воздушного винта. Воздушный винт выбирает винт в Ан-2, который так популярен в России и выпускается уже более 70 лет. Винт работает со скоростью 1453 об/мин при взлетной скорости 20 м/с, и в качестве сравнения представлены как 0 углов атаки, так и 5 градусов. Модель турбулентности выбирает реализуемый k-эпсилон, а акустическая модель выбирает FW-N. Чтобы оценить акустическую сигнатуру, набор из 13 микрофонов, расположенных на дуге полукруга (центр находится на центре масс воздушного винта) радиусом 30 метров и с шагом 15°.

Результаты представлены в виде полярной направленности общего уровня звукового давления, уровня звукового давления первой и второй гармоник и звукового спектра 13 микрофонов.

Согласно звуковому спектру, разница уровня звукового давления между углом атаки 0 и 5 градусами в задней части воздушного винта (90-180 градусов), как и ожидалось, все гармоники при угле атаки 5 градусов увеличены по сравнению с 0 градусами. Но в передней части воздушного винта (0-90 градусов) уровень звукового давления на 5 градусов даже немного падает, особенно при 45-75 градусах. На самом деле полярная направленность уровня звукового давления при угле атаки 5 градусов больше похожа на полярную направленность при 0 угле атаки, поворачивающуюся на 5 градусов.

После проверки, изменяющейся во времени нагрузки на лопасть воздушного винта, выясняется, что нагрузка на лопасть винта при угле атаки 0 градусов не является полностью стабильной, колеблется в зависимости от периода вращения винта. Это может быть объяснено тем, что пропеллер попал в турбулентность, вызванную им самим, что приводит к нестабильной нагрузке на лопасть винта. Это также может объяснить, почему разница уровня звукового давления при угле атаки больше по азимуту, а не по амплитуде.

### **Влияние изменения направления радиальной нагрузки и числа сегментов в сегментном подшипнике с самоустанавливающимися сегментами на его жесткость и демпфирование**

<sup>1</sup>Шапошников К.В., <sup>1</sup>Дегтярев С.А., <sup>2</sup>Леонтьев М.К.

<sup>1</sup>ООО «Альфа-Транзит», <sup>2</sup>МАИ, г. Москва, Россия

Сегментные подшипники скольжения с самоустанавливающимися сегментами все чаще находят свое применение в турбомашинах взамен традиционных подшипников скольжения с

неподвижными сегментами ввиду их хорошей несущей способности и повышенной устойчивости на высоких скоростях вращения. По виду ориентации радиальной нагрузки сегментные подшипники можно разделить на две базовые конфигурации: подшипники с нагрузкой на сегмент (LOR) и подшипники с нагрузкой между сегментами (LBP). Изменение величины и направления радиальной нагрузки может приводить к существенному изменению динамических коэффициентов жесткости и демпфирования в сегментных подшипниках скольжения, что в свою очередь может оказывать существенное влияние на динамику установленной на такие подшипники турбомашин и изменение ее виброактивности. Величина и направление радиальной нагрузки может меняться в зубчатых передачах, а также турбомашин с интегральной компоновкой редуктора в зависимости от режима их работы. Для турбомашин судового типа с подшипниками скольжения, изменение положения корпуса судна вследствие его качки в беспокойном море, также может влиять на отклонение радиальной нагрузки в опорах от ее нормального направления.

В настоящей работе использована модель 5 сегментного подшипника с самоустанавливающимися сегментами из работы [1], построенная в программном пакете для расчетов подшипников скольжения DynFB входящего в состав программной системы DYNAMICS R4. Результаты проведенных расчетов показали, что главные коэффициенты жесткости на постоянной частоте вращения могут значительно меняться при изменении направления радиальной нагрузки от случая, когда нагрузка приложена на сегмент (LOR) до случая ее приложения между сегментами (LBP). Для рассмотренной модели подшипника жесткость в горизонтальном направлении в таком случае возрастает примерно в 6.6 раз, а вертикальная жесткость при этом снижается в 1.7 раз. Отклонение радиальной нагрузки также приводит к появлению перекрестных коэффициентов жесткости. Поскольку данные коэффициенты имеют одинаковый знак и величину, то их присутствие не приводит к появлению в подшипнике тангенциальной дестабилизирующей силы. Полученные расчетные результаты согласуются с результатами описанными в [2].

На примере модели ротора ТВД судового ГТЗА TC-2 построенной в DYNAMICS R4 показано, что отклонение радиальной нагрузки от веса ротора в подшипниках турбомашин может приводить к изменению положения ее критических скоростей вращения. Увеличение числа сегментов в подшипнике может помочь снизить влияние отклонения радиальной нагрузки на изменение коэффициентов жесткости и демпфирования в подшипнике. Использование большого числа сегментов усложняет конструкцию подшипника, однако также приводит к снижению длины дуги каждого отдельного сегмента, что в свою очередь повышает устойчивость ненагруженных или слабонагруженных сегментов подшипника к флаттеру. Стоит отметить, что для подшипников с большим количеством сегментов требуется меньший крутящий момент для страгивания ротора при запуске.

Литература:

1. Шапошников К.В., Дегтярев С.А., Леонтьев М.К. Расчет пятисегментного подшипника скольжения с самоустанавливающимися сегментами в программном пакете DynFB: сравнение конфигураций при различной ориентации радиальной нагрузки //Перспективы развития двигателестроения: материалы докл.: сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Т. 2. - 2023. - С. 228-230.

2. Vance J., Zeidan F., Murphy B. Machinery vibration and rotordynamics. John Wiley & Sons, 2010.

### **Определение функциональной зависимости между производственными отклонениями пера лопатки и показателями эффективности ступени вентилятора**

Шевяков А.О., Равикович Ю.А., Архипов А.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Качество производимых турбовентиляторных двигателей с высокой степенью двухконтурности во многом определяется газодинамическим совершенством и надежностью вентиляторной ступени, одной из основных деталей которой является широкохордная лопатка. При проектировании и изготовлении лопаток должен быть обеспечен ряд требований: относительно высокая точность исполнения линейных и угловых размеров

профиля для обеспечения одинаковых скоростей течения, давлений и температур в межлопаточных каналах; отсутствие концентраторов напряжений, особенно в переходе пера к хвостовику [1].

На некоторых рабочих режимах двигателя прочностные и/или газодинамические характеристики ступени могут снижаться из-за отклонения геометрических параметров изготовленной лопатки от номинальных значений даже в пределах установленных допусков, вследствие чего возникает необходимость оценки чувствительности показателей надежности и эффективности вентилятора к различным отклонениям геометрии пера [2-3].

В качестве варьируемых переменных использовался набор фактических геометрических параметров пера, определяющих соответствие изготовленной лопатки номинальной модели. Таким образом, профиль пера описывается шестью параметрами в нескольких сечениях: угол установки (ТНТА); максимальная толщина (Е); толщины вблизи входной ( $e_1$ ) и выходной кромок ( $e_2$ ); отклонения центра тяжести ( $T_x$ ,  $T_y$ ). Численные значения варьируемых переменных соответствовали минимальным и максимальным значениям установленных допусков.

В свою очередь, набор оцениваемых прочностных и газодинамических характеристик, определяющих степень эффективности вентиляторной ступени, включал в себя: расход воздуха ( $G_v$ ); степень повышения давления ( $P_k$ ); КПД ( $\eta_k$ ); тяга ( $P$ ); статические напряжения на пере и в области скруглений лопатки (оперо, оскруг.); суммарные перемещения ( $\delta\Sigma$ ), а также их компоненты в окружном ( $\delta x$ ), радиальном ( $\delta y$ ) и осевом ( $\delta z$ ) направлении.

Технология решения задачи анализа чувствительности представляет собой единую расчетную цепочку. На первом этапе, на основании набора варьируемых переменных создаются параметрические модели лопатки «холодной» формы, после чего определяются их прочностные характеристики. Затем по результатам прочностных расчетов создаются параметрические модели лопаток «горячей» формы, на основании которых определяются газодинамические характеристики вентилятора. После чего выполняется оценка коэффициентов влияния варьируемых геометрических переменных на основные прочностные и газодинамические характеристики.

Одним из наиболее важных результатов выполненной работы является подтверждение возможности создания линеаризованной модели, позволяющей проводить оперативный анализ влияний производственных отклонений на показатели эффективности ступени вентилятора.

1. Иноземцев А.А., Нихамкин М.А., Сандрацкий В.Л. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок: учеб. // М.: Машиностроение, 2008.– Т.2.–368с.

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.N., Bugryashova E.V., Ravikovich Yu.A., Kholobtsev D.P., Shevyakov A.O. Analysis of the Geometric Deviation Influence on the Aerodynamic Characteristics of the Fan Blades // Amaz. Inv. 2019.–8(22).–p.443–452.

### **Влияние установки надроторного устройства на кавитационные характеристики осевого насоса**

Шоронов С.В., Казеннов И.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Напорные характеристики насосов с осевыми колёсами в подавляющем большинстве случаев имеют немонокотные кривые [1], что осложняет их процесс проектирования и регулирования. Обеспечение монотонно падающей напорной характеристики осевого насоса является одной из важнейших целей проектирования и оптимизации конструкции агрегата. Для изменения формы напорных характеристик (на монотонно падающие) устанавливаются надроторные устройства в виде пластиковых вставок (которые вклеиваются в корпус агрегата) с осевыми канавками с разным количеством проточек и их длиной. Однако в

литературе плохо изучено влияние надроторных устройств на кавитационные характеристики [2-6], поэтому в данной работе исследовано влияние установки надроторных устройств с осевыми канавками на кавитационные характеристики.

Объектом исследования является гидроприводной осевой насос с приводом от гидравлической турбины, установленной на бандаже рабочего колеса насоса. Основные параметры осевого рабочего колеса насоса: коэффициент быстроходности  $ns = 540$ , приведенный расход  $Q/n = 13$ , л/ч/об·мин, втулочное отношение на входе  $d1v_{\text{отн}} = 0,44$ , втулочное отношение на выходе  $d2v_{\text{отн}} = 0,65$ , плотность на среднем диаметре  $\rho = 1,27$ , коэффициент эквивалентного диаметра на входе  $KD_{\text{в1}} = 4,57$ , коэффициент эквивалентного диаметра на выходе  $KD_{\text{в2}} = 3,85$ , угол атаки на среднем диаметре  $i_{\text{ср}} = 1,71$  град.

В работе экспериментально получены кавитационные характеристики исследуемого осевого насоса с надроторным устройством с прямыми проточенными канавками, направленными вдоль оси. При достаточной длине и количестве осевых каналов, исследованного надроторного устройства, кавитационные характеристики по первому и второму критическому режиму, на всех режимах работы, не значительно отличаются от исходной геометрии. С увеличением количества канавок видно улучшение кавитационных характеристик, но по количеству канавок оптимума найдено не было. При увеличении длины канавок больше определённой величины, кавитационные качества во всём исследованном диапазоне работы менялись не значительно.

Дальнейшие исследования рекомендуется проводить по изменению глубины канавок и их углам установки.

Литература:

1. Кивченко Г.И. Насосы и гидротурбины. М., «Энергия», 1970 г. 448с
2. G. Kosyna, I. Goltz, U. Stark. Flow Structure of an Axial-Flow Pump from Stable Operation to Deep Stall. ASME, 2005, 8 pages.
3. I. Goltz, G. Kosyna, D. Wulff, H. Schrapp, U. Stark, H. Saathoff, S. Bross. Structure of the Rotor Tip Flow in a Highly Loaded Single-Stage Axial-Flow Pump Approaching Stall Part II: Stall Inception - Understanding the Mechanism and Overcoming its Negative Impacts. ASME, 2004, 6 pages.
4. Isabel Goltz, Gunter Kosyna, Antonio Delgado. Eliminating the head instability of an axial-flow pump using axial grooves. J Power and Energy 227 (2). 2012. page 206-215.
5. P. Perez Flores, G. Kosyna, D.Wulff. Suppression of Performance Curve Instability of an Axial-Flow Pump by Using a Double-Inlet-Nozzle. International Journal of Rotating Machinery. 2008. 7 pages.
6. Young-Do Choi, Junichi Kurokawa, Hiroshi Imamura. Suppression of Cavitation in Inducers by J-Grooves. Journal of Fluids Engineering Vol. 129, ASME. 2007. page 15-21.

### 3. Системы управления, информатика и электроэнергетика

#### Повышение точности прогнозирования временных рядов за счет использования технологии гибридного моделирования

Mohamad Y.B.

МАИ, г. Москва, Россия

В этой статье описаны основные этапы построения моделей прогнозирования гибридных временных рядов, критерии, используемые при выборе оптимальной модели. Работа выполнена по методике Чжана, которая предполагает, что временной ряд представляет собой комбинацию двух компонентов: линейного и нелинейного [2]:

Модели разделены на две основные части:

1. Построение условной средней модели.

Данный этап состоит из следующих основных шагов [3]:

I. Построение и определение лучшей модели ARIMA для временного ряда  $Y_t$ . На этом этапе выбирается оптимальный ранг модели, то есть определяются параметры  $p$ ,  $d$  и  $q$ , а ранг авторегрессии представляет собой скользящее среднее. После этого выбирается наилучшая модель ARIMA, дающая наименьшее значение по следующим статистическим критериям: критерий  $Bic$ , критерий  $AIC$ , критерий  $FPE$ .

II. Оценка параметров модели ARIMA: Процесс оценки параметров модели осуществляется на основе итерационного метода прогнозирования, который существенно зависит от экспоненциального коэффициента допуска  $\lambda$ .

III. Извлечение остатков модели ARIMA, которые называются компонентами случайных ошибок.

IV. Диагностика остатков линейной модели. Этот этап считается одним из важнейших этапов построения гибридной модели, на котором изучаются и диагностируются остатки принятой линейной модели, чтобы определить, включают ли они только линейные компоненты или включают как линейные.

Если результаты тестов подтвердят наличие нелинейности в остатках, это ограничивает принятие линейной модели ARIMA ( $p$ ,  $d$ ,  $q$ ) и мы переходим ко второй части процесса построения гибридной модели.

2. Построение модели условного отклонения.

Построение нелинейной модели GARCH и получение совокупности окончательных значений прогноза ( $N_t$ ) для уравнения условной дисперсии в соответствии со следующими шагами [4].

Выбор ранга модели: ранг как рангов  $r$ , так и  $s$  должен выбираться очень тщательно. Критерии ( $AIC$ ,  $BIC$ ,  $HQC$ ) являются одними из наиболее часто используемых критериев при выборе ранга модели.

Оценка параметров модели. Параметры нелинейной модели оцениваются с использованием метода максимального правдоподобия, в котором используются алгоритмы численной оптимизации, такие как алгоритм БННН.

На последнем этапе уравнение линейного прогноза ( $l_t$ ) из модели ARIMA объединяется с уравнением нелинейного прогноза из модели GARCH.

После получения наилучшей гибридной модели прогноза осуществляется прогнозирование траектории временного ряда на определенный период времени, а затем, оценивается с использованием ряда метрик, а именно:

- средняя абсолютная процентная ошибка;
- средняя абсолютная ошибка;
- устойчивая гауссова вероятность.

Предыдущие шаги реализованы в программной среде RStudio.

Результаты проведенного моделирования показали, что модель ARIMA – GARCH превзошла модель ARIMA.

Литература:

1. Bettinger, R., Dynamic Regression In ARIMA Modeling. rsbettinger@ gmail. com, Seattle, WA, USA, 2012.
2. Zhang, G.P., Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. Neurocomputing, 2003. 50: p. 159-175.
3. Andrews, B.H., et al., Building ARIMA and ARIMAX models for predicting long-term disability benefit application rates in the public/private sectors. Society of Actuaries, 2013: p. 1-54.
4. Engle, R., GARCH 101: The use of ARCH/GARCH models in applied econometrics. Journal of economic perspectives, 2001. 15(4): p. 157-168.

### **Применение инновационной технологии эдьютеймента для обучения специалистов в области авиационной техники**

Александрова С.С., Иванцов Д.Б., Манин А.Н., Факеев Д.М.  
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время к специалистам в области авиационно-технического профиля предъявляются высокие требования к наличию технических знаний, навыков и умений, а также их компетенций. В ходе обучения будущие специалисты постигают множество технических, естественных и гуманитарных дисциплин, подача которых происходит в лекционном формате, а также на семинарах, с возможным применением интернет-технологий. В таких условиях получения большого объёма разнородной информации, у студента может возникнуть сложность с усвоением материала, что приведёт к потере интереса во время обучения, и как следствие, уменьшения числа будущих высокообразованных специалистов авиационно-технического профиля.

Одним из вариантов решения данной проблемы возможна разработка технологической платформы, с интеграцией технологии эдьютеймента (Edutainment), которая представляет из себя сочетание образования и развлечения, используемая для создания интерактивных медиапродуктов, которые могут помочь будущим специалистам получить новые знания и развивать приобретённые навыки.

Основной идеей, возникшей при разработке технологической платформы, являлась задача устранения существующих проблем в освоении материала студентами и сохранения традиционного подхода в обучении.

Данная платформа решает следующие ключевые проблемы:

- 1) Удержание внимания.
- 2) Ограниченная социальная интеракция студентов.
- 3) Списывание работ.

Решение вышеперечисленных проблем достигается за счёт наличия различных сервисов, например, набирая баллы за выполнение домашнего задания, курсовых и дипломных проектов, студент может приобрести в сервисе «Магазин» различные призы, такие как купоны на различные товары и мероприятия.

Ожидается, что пилотная версия разработанного сервиса способствует повышению качества образования, улучшению мотивации студентов и привлечению внимания к инженерным дисциплинам, что поднимет число будущих высокообразованных специалистов авиационно-технического профиля.

Литература:

1. González Reyes J.A. Предложение по геймификации в классе: Использование платформы для мотивации студентов Академической программы информатики Автономного университета Нааярит./González Reyes, J.A., Olivares Granados, S.A., García Sánchez, E., Figueroa Melchor, I.G. 2017./ Пер. с исп. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tecnocientifica.com.mx/educateconciencia/index.php/revistaeducate/article/view/163> (Дата обращения: 19.10.2023)
2. Marta Montenegro-Rueda. Влияние геймифицированного обучения на обучение студентов университета./ Marta Montenegro-Rueda, José Fernández-Cerero, Andrés F. Mena-Guacac, Miguel María Reyes-Rebollo.// Department of Teaching and Educational Organization, University of Seville, 41013 Seville, Spain. / Пер. с исп. [Электронный ресурс]. – Режим

## **Разработка интернет-сервиса мониторинга и ретроспективы доменных имён по заданным критериям**

Альбинов Р.Р.

МАИ, г. Москва, Россия

В интернет существует множество различных сайтов, которые обладают своим уникальным доменным именем, что позволяет однозначно идентифицировать их в сети. Для получения доменного адреса необходимо его арендовать у регистратора.

Актуальность работы заключается в том, что, разработанный интернет-сервис позволяет отслеживать желаемые домены в реальном времени и уведомлять пользователя об освобождении того или иного имени, тем самым экономя время клиента. Помимо этого, сервис будет хранить информацию по интересующим запросам, что позволит клиенту анализировать домены на их актуальность.

Глобально система делится на две части: мониторинг доменных имён и на клиентскую часть. Мониторинг осуществляется при помощи настроек критериев пользователя и сетевого протокола Whois, благодаря которому определяется статус домена. Настройки критериев позволяют отображать желаемые доменные зоны, и выполнять непосредственно поиск по определённому доменному имени. Мониторинговая система объединяет все запросы пользователей в базу данных, далее отправляет их на проверку по порту 43, используя протокол TCP. Во избежание блокировки IP адреса из-за большого количества запросов, все передаваемые запросы будут распределены по времени. Результаты запросов к Whois сохраняются в базу данных, а затем отправляются каждому пользователю. Скорость отправки запросов и обновление данных происходит с некоторой периодичностью, которая настраивается внутри конфиг файла сервиса.

Сервис уведомлений реализован с помощью чат-бота. Функционал сервиса позволяет создавать запрос для поиска доменного имени по определённым критериям, с возможностью дальнейшего редактирования запроса. Также чат-бот обладает функцией для оповещения о свободном домене. Сервис использует базу данных, в ней содержатся запросы каждого пользователя. Сервис отправляет данные запроса каждого пользователя в мониторинговую систему, и ожидает ответ от сервиса. После ответа система вносит изменения в базу данных и оповещает пользователя о изменении статуса доменного имени.

В результате, система мониторинга доменных имён позволяет отображать статус доменных адресов для различных клиентов в реальном времени, тем самым позволяя арендовать подходящие доменные имена в момент их доступности на рынке.

## **Применение модели аксиально намагниченного цилиндра для расчёта осесимметричных токовых систем**

Андреев А.К.

МАИ, г. Москва, Россия

Аналитические расчёты токовых систем методами теоретической электротехники чрезвычайно трудоёмки. Так, например, в случае типовой изолированной катушки с прямоугольным сечением, индуктивность записывается в виде поразительно громоздких формул [1]. На практике расчётные формулы представляют в виде рядов, аппроксимирующих формул, либо графоаналитических методов [2].

В настоящей работе представлен новый метод расчёта индуктивных и силовых параметров осесимметричных токовых систем, основанный на эквивалентности внутренних энергий цилиндра и катушки, если только соблюдено равенство плотностей их поверхностных токов [3]. В модели в принципе не используются электротехнические методы. Метод кардинально упрощает вычисления и базируется на аналитических формулах 3D полей рассеяния и размагничивания цилиндра. Индуктивности, взаимные индуктивности и силовые параметры системы катушек рассчитываются из собственных энергий цилиндра, взаимных энергий цилиндров и энергий выделенных цилиндров в поле других. Так определяются

пондеромоторные силы, межслойные напряжения многослойных катушек (цилиндров), индуктивности систем катушек прямоугольного сечения и других сложных систем. Установленная эквивалентность коэффициента Нагаока для однослойных катушек конечной длины и среднего по объёму размагничивающего фактора цилиндра непосредственно подтверждает корректность модели цилиндра. Модель позволяет рассчитывать сложные системы с несовпадающими осями. Метод применим для создания многокомпонентных изделий, таких как датчики положения, дефектоскопы и иные системы, включающие как токовые, так и магнитные элементы. Тестовые расчёты по рассматриваемой модели соответствуют данным, приведённым в [1] и в публикациях других авторов.

1. Yu D., Han K.S., Self-Inductance of Air-Core Circular Coils with Rectangular Cross Section // IEEE Trans. on Magn., 1987, V. MAG-23, No 6, pp. 3916-3921.

2. П.Л. Калантаров, Л.А. Цейтлин. Расчет индуктивностей. Энергоатомиздат, Л., 1986.

3. А.К. Андреев, «Метод расчёта взаимной индуктивности системы катушек с использованием модели аксиально намагниченного цилиндра» // Письма в ЖТФ, том 46, вып. 21, стр. 48-51. 2020. DOI: 10.21883/PJTF.2020.21.50198.18042

### **Структура программного обеспечения для многопозиционного комплекса обзора летного поля**

Андреева Н.С., Гевак Н.В.

МГТУ ГА, г. Москва, Россия

В настоящее время в нашей стране и за рубежом активно внедряются усовершенствованные системы управления наземным движением и контроля за ним (A-SMGCS). Основными элементами таких систем являются различного типа датчики, предоставляющие информацию о наличии и параметрах движения различных объектов в зоне наблюдения. Такие датчики могут относиться к следующим типам: кооперативным и некооперативным, зависимым и независимым. Для решения задачи активного наблюдения целесообразным представляется использование в качестве первичного радиолокационного датчика (РЛД) маломощной, твердотельной, легкой и относительно дешевой РЛС Х-диапазона. Радиолокационная информация, поступающая от независимых РЛД, будет подвергаться дальнейшей вторичной и третичной обработке в вычислительной системе с выдачей информации потребителю по согласованному протоколу. В связи с этим, предлагается для решения задач наблюдения многопозиционный радиолокационный комплекс обзора летного поля (МП РЛК ОЛП), состоящий из маломощных радиолокационных датчиков (РЛД), канала передачи и управления (ПДиУ), реализуемый на волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС), и вычислительной системы со специализированным программным обеспечением (СПО).

В настоящее время вопросы первичной обработки информации для обзорных радиолокационных станций достаточно хорошо разработаны. В связи с этим при разработке МП РЛК ОЛП необходимо решить ряд следующих научных задач:

- Разработка методики обоснования требований к РЛД, входящих в состав МП РЛК ОЛП, на основе сертификационных требований, предъявляемых к системам обзора летного поля;
- Разработка структуры программного обеспечения.

В данной работе рассмотрен вопрос возможных вариантов построения алгоритмов вторичной и третичной обработки информации МП РЛК ОЛП, а также их основных элементов.

В радиолокационных системах (РЛС) сопровождения производится измерение относительного положения цели по дальности, азимуту и углу места. В настоящее время широко используются наземные РЛС, осуществляющие одновременно функции обнаружения и сопровождения движущихся целей.

Алгоритмы сопровождения предназначены для обеспечения высокоточного непрерывного сопровождения множества, в том числе маневрирующих, целей в наблюдаемом пространстве в процессе обзора и непрерывной оценки всех фазовых координат, сопровождаемых целей, необходимых потребителям.

Для решения этой задачи зачастую используется одиночный радиолокатор обзора и сопровождения. Однако из-за наличия различных объектов аэродромной инфраструктуры на летном поле аэродрома движущиеся цели могут быть вовремя не обнаружены. В итоге при сопровождении цели ошибки определения координат зависят не только от характера её движения, но и от дальности до радиолокатора.

Использование многопозиционной системы сопровождения позволит уменьшить ошибки сопровождения в таких ситуациях, создавая необходимую конфигурацию зоны наблюдения. Основные задачи алгоритмов сопровождения в многопозиционном комплексе:

1. Обеспечение высокоточного бесперывного сопровождения множества (в том числе маневрирующих) наземных объектов в зоне летного поля в процессе обзора пространства.

2. Непрерывная оценка всех фазовых координат сопровождаемых объектов, необходимых для потребителей.

3. Обеспечение высоких показателей качества траекторного сопровождения.

В докладе рассмотрены вопросы особенностей двух подходов объединения информации: на уровне вторичной обработки и на уровне третичной обработки. Показаны плюсы и минусы этих подходов.

### **Способ формирования напряжения режима трехуровневой широтно-импульсной модуляции синусоидальной формы на входе фильтра однофазного инвертора**

Артемов Е.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Транзисторные инверторы предназначены для преобразования постоянного напряжения в переменное, заданного качества. В авиации преобразователи электрической энергии являются резервными источниками питания навигационного оборудования и приводов.

Наиболее востребованным режимом формирования напряжения является трехуровневая широтно-импульсная модуляция по синусоидальному закону, регулирование длительности импульсов в котором может быть реализовано различными способами. Самым распространенным является использование компаратора, на входы которого подаются пилообразный и синусоидальный сигналы. Основной проблемой данного способа является необходимость обеспечения определенного уровня пилообразного

напряжения, так как для корректного формирования сигнала ШИМ нижний уровень пилообразного напряжения должен быть равен нулю. Это может быть обеспечено при помощи двухполупериодного выпрямителя. Так же возможно поднять уровень пилы с применением операционного усилителя. Однако у каждого из способов имеются свои

недостатки. В исследовании основной целью была разработка и анализ способа формирования сигнала ШИМ с использованием двух опорных синусоидальных сигналов.

В качестве методов исследования были использованы моделирование в программе MATLAB и MATLAB Simulink.

В результате проведенного исследования сделаны следующие выводы: применение двух противофазных синусоидальных опорных сигналов при формировании сигналов управления позволяет избежать вышеуказанной проблемы при сохранении основного показателя, а именно коэффициента гармоник выходного напряжения.

Литература:

1. В.И. Волков, В.В. Крючков. Формирование многоимпульсных и многоуровневых напряжений с улучшенным спектральным составом. - Практическая силовая электроника, 3 (71), 2018, С. 16 - 28.

2. Анисимова Т.В., Крючков В.В. Расчёт параметров выходного фильтра инвертора с синусоидальным выходным напряжением. - Практическая силовая электроника, № 3 (47), 2012, С. 6 - 10.

## **Разработка интернет-сервиса развёртывания типовых сайтов научных мероприятий**

Астахов К.А., Морозова А.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Современная научная среда стремительно развивается, и проведение научных мероприятий становится неотъемлемой частью этого процесса. Создание веб-сайтов для научных мероприятий является важным элементом успешной организации и популяризации мероприятий. В данной работе рассматривается идея разработки интернет-сервиса, позволяющего легко и быстро создавать типовые сайты для научных мероприятий.

Актуальность, разрабатываемого интернет-сервиса для развёртывания типовых сайтов научных мероприятий, объясняется несколькими важными факторами:

1) Современная диджитализация.

В современном мире диджитализация стала неотъемлемой частью организации событий. Создание веб-сайтов является одним из ключевых элементов современной коммуникации и информационной публикации. Он предоставляет участникам мероприятий быстрый и удобный доступ к информации.

2) Сокращение времени и ресурсов.

Традиционное создание веб-сайтов может быть сложным и затратным процессом, требующим навыков разработки и дизайна. Интернет-сервис для создания сайтов определенного формата позволяет экономить время и ресурсы организаторов мероприятий.

3) Доступность.

Сервисы для создания сайтов делают эту технологию доступной для широкого круга пользователей. Даже люди без специальных знаний в веб-разработке могут создать профессионально выглядящий сайт для своего мероприятия.

4) Снижение ошибок и обновление информации.

Интернет-сервисы предоставляют удобные инструменты для редактирования и обновления информации на сайте. Это помогает избежать ошибок в расписании и предоставлении актуальной информации.

5) Усиление профессионального восприятия.

Данный интернет-сервис обладает всеми необходимыми инструментами для создания сайта, имеющего привлекательный дизайн и необходимый функционал для сайта с такой спецификой.

Основной функционал данного сервиса отображен в следующих пунктах:

1) Выбор шаблона. Возможность выбора из разнообразных шаблонов сайтов, предназначенных специально для научных мероприятий. Шаблоны могут предоставлять разные дизайнерские решения и структуры.

2) Персонализация. Возможность настройки дизайна, включая выбор цветовой схемы, загрузку собственного логотипа и изменение основных элементов дизайна.

3) Удобный редактор контента. Интуитивный редактор для добавления и редактирования информации о мероприятии, включая описание, расписание, информацию о спикерах, абстракты и т.д.

4) Управление участниками. Панель управления для организаторов с информацией о зарегистрированных участниках и возможностью связи с ними.

5) Автоматизация обновления информации. Возможность настройки автоматического обновления информации, такой как расписание, новости или изменения в программе мероприятия.

6) Аналитика и статистика. Возможность отслеживания статистики посещаемости сайта, регистраций, платежей и других важных метрик.

Разработка интернет-сервиса для развёртывания типовых сайтов научных мероприятий является важным шагом в современной организации научных и образовательных событий. Этот инновационный подход позволит сделать процесс создания веб-сайтов более доступным, эффективным и удобным для всех участников научных мероприятий. Развитие такого сервиса может способствовать расширению научных и образовательных инициатив, улучшению их качества и повышению их видимости в мире.

## **Использование альтернативных средств активации-сенсibilизации для производства печатных плат в условиях импортозамещения**

Бараковский Ф.А., Романов Е.К.

МАИ, г. Москва, Россия

Производство печатных плат (ПП) является важным звеном глобальной цепочки поставок электронных устройств. Работоспособность, надежность и долговечность ПП в значительной мере определяются технологическими операциями металлизации, от качества которой в конечном итоге зависит качество всего устройства. Наиболее распространенной системой металлизации на данный момент является система на основе палладиевого активатора. Однако растворы цикла прямой металлизации с использованием палладиевого активатора имеют большую стоимость (>80 тыс. руб. за литр), поставляются в больших объемах (от 20 л), а главное – являются для российского производства продуктом импорта. В условиях невозможности прямой покупки растворов прямой металлизации единственными альтернативами остаются параллельный импорт и переход обратно на химическое меднение. К тому же прямая металлизация также осуществляется в гальванических линиях, применение которых, в силу специфики осуществляемых на них технологических операций, оправдано только для крупносерийного производства. Приобретение расходных растворов путем параллельного импорта также проблематично для мелкосерийных предприятий и для лабораторий, в которых печатные платы изготавливаются штучно. Но в настоящее время в России основным типом производителей ПП являются именно мелкосерийные производства, а чаще – цеха в составе предприятий, для которых производство печатных узлов являются одной из составных частей изготовления основной продукции.

Представлено исследование альтернативного способа активации-сенсibilизации печатных плат, актуального для мелкосерийного и единичного производств, включающих в себя этап металлизации печатных плат. Приведены сравнительные с традиционной палладиевой системой активации данные по критериям стадийности процесса, времени подготовки поверхности, количества необходимой оснастки, стоимости технологической операции.

Также приведенные экспериментальные данные по толщине металлизации отверстий разного характеристического отношения показывают, что представленный способ активации печатных плат не уступает импортным средствам палладиевой системы металлизации печатных плат.

## **Современные проблемы применения генеративного дизайна в авиастроении**

Басова А.Н., Волчкова А.С., Харитonenков А.И.

МАИ, г. Москва, Россия

В современном авиационном и авиакосмическом индустриальном комплексе генеративный дизайн представляет собой технологию, которая в процессе проектирования и разработки воздушных и космических аппаратов позволяет создавать сложные и инновационные конструкции, учитывая ряд разнообразных параметров, таких как вес, прочность, аэродинамические характеристики и даже экономические факторы.

Однако, наряду с потенциальными преимуществами, существуют и современные проблемы применения генеративного дизайна в авиастроении. Эти проблемы могут замедлить или затруднить интеграцию этой инновационной технологии в данную отрасль. Некоторые из них включают в себя:

1. Сложность сертификации и стандартизации: В авиастроении существует строгая система сертификации и стандартизации, и внедрение генеративного дизайна может требовать дополнительных усилий для подтверждения соответствия установленным нормам и требованиям безопасности.

2. Недостаточная интеграция с другими инструментами: несмотря на значительный потенциал применения генеративного дизайна в создании инновационных проектов, существует ограничение в его интеграции с другими инструментами, такими как САД-системами или программами моделирования.

3. Недостаточная адаптация к производственным процессам: Интеграция генеративного дизайна в производственные процессы и системы управления может вызвать затруднения, требующие значительных инвестиций и организационных изменений.

4. Ограниченность технологий производства: генеративный дизайн может создавать сложные формы, которые могут быть трудны для производства с помощью существующих технологий, что может ограничивать их применение в реальном мире. Это может потребовать пересмотра дизайна или поиска новых технологических решений.

5. Защита интеллектуальной собственности: Применение генеративного дизайна может создавать сложности в области защиты интеллектуальной собственности, поскольку многие аспекты дизайна генерируются алгоритмами.

Генеративный дизайн представляет собой мощный инструмент с позволяющий изменить авиационную и авиакосмическую индустрию, предоставляя возможности для создания сложных и инновационных дизайнов. Тем не менее, его внедрение в эту отрасль сопровождается несколькими современными проблемами и ограничениями, которые требуют внимания и решения.

С развитием технологий, стандартизации и совершенствованием процессов, генеративный дизайн может стать более доступным и применимым в авиационной индустрии. Его потенциал для оптимизации дизайна, уменьшения веса и улучшения производительности может дать значительные преимущества в конкурентной индустрии.

1. Алфимов, В. И. Перспективы использования аддитивных технологий при создании деталей авиационных двигателей / В. И. Алфимов, К. В. Королев // Инновации. Наука. Образование. – 2022. – № 52. – С. 350-358. – EDN FKRTJB.

2. S. Bagassi, F. Lucchi, F. De Crescenzo, F. Persiani GENERATIVE DESIGN: ADVANCED DESIGN OPTIMIZATION PROCESSES FOR AERONAUTICAL APPLICATIONS // ICAS. - 2016.

### **Повышение производительности металлорежущего оборудования с ЧПУ за счет управления качеством обрабатываемых поверхностей**

<sup>1</sup>Белюсов Н.А., <sup>2</sup>Кузнецов П.М.

<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, <sup>2</sup>МАИ, г. Москва, Россия

Современные металлорежущие станки с числовым программным управлением (ЧПУ) обеспечивают точность позиционирования рабочих органов до сотых долей миллиметра, а обрабатываемые на них заготовки для авиационной и ракетно-космической промышленности, как правило, изготавливают из легкообрабатываемых материалов, таких как алюминий, который не требует больших сил резания, что в совокупности с применением современного режущего инструмента, позволяет повышать расчетные (оптимальные) значения режимов обработки.

Оптимальные режимы резания задаются для обеспечения жестких требований к качеству поверхностей и точности геометрических размеров изделий, относящихся к авиационной и космической технике. Увеличение контурной скорости обработки, продиктованное усовершенствованием режущего инструмента и использованием легкообрабатываемых материалов в производстве приводит к несоблюдению заданных требований по точности обработки.

Анализ работы системы автоматического управления (САУ) приводами металлорежущего станка с ЧПУ при обработке заготовок со сложной геометрией контура, требующей согласованной работы нескольких приводов для перемещения исполнительного органа станка относительно заготовки, показал, что увеличение контурной скорости приводит к увеличению погрешности заданного размера, то есть к появлению брака.

При проведении экспериментальных исследований в лаборатории кафедры «Металлорежущие станки» МГТУ им. Н.Э. Баумана установлено, что величины сигналов рассогласования скоростного сигнала, обусловленные статизмом первого порядка в скоростном контуре управления, напрямую влияют на качество обрабатываемой поверхности. Кроме этого, чем выше контурная скорость, тем сильнее увеличивается

разница соотношения этих сигналов рассогласования в приводах и, как следствие, снижается точность процесса обработки.

Разработанный авторами подход, основан на принципе поддержания требуемого соотношения величин сигналов рассогласования в скоростном контуре управления, который позволяет не только управлять качеством обрабатываемой поверхности, но и повышает производительность металлорежущего оборудования с ЧПУ на 15%.

### **Применение нейронных сетей для оптимизации АСУ и САПР ТП в условиях мелкосерийного производства**

Беляев С.И., Кузнецов П.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Развитием современного типа промышленного производства является переход от крупносерийного производства к мелкосерийному, что продиктовано растущим уровнем конкуренции в условиях развития индивидуального потребительского спроса на выпускаемую продукцию. Номенклатура выпускаемой продукции увеличивается при одновременном снижении объема партий [1].

Время, затрачиваемое на технологическую подготовку производства с учетом уже запущенных в технологическую систему производственных заданий, начинает доминировать над другими составляющими времени перехода на выпуск новой продукции. Возникает задача снижения времени поиска рациональной загрузки имеющегося оборудования в плановом периоде.

Сегодня поставленная задача частично решается сочетанием локального моделирования частных производственных состояний и натуральных реализаций полученных решений. Подобный подход не позволяет в должной мере обеспечить повышение пропускной способности технологической системы предприятия. Концепцией решения задачи может выступить представление процессов в технологической системе в виде ее некоторого образа выраженной обобщенной моделью, охватывающей максимальный объем факторов, влияющих на загрузку оборудования технологической системы. Становится возможным организовать эффективное управление технологическими процессами используя АСУ ТП в связке с САПР ТП.

Здесь возможна реализация принципа обучения [2] при сочетании систем АСУ и САПР ТП для создания эффективной системы их взаимодействия с целью повышения показателей эффективности в условиях единичного и мелкосерийного производства. В связи с этим возрастает интерес к альтернативным подходам моделирования производственных процессов с использованием нейронных сетей, работающие в реальном времени, способные обучаться в процессе использования. Преимущества нейронных сетей делают их использование перспективным для оптимизации взаимодействия АСУ ТП и САПР ТП, т.к. позволяют осуществлять поиск оптимальной загрузки оборудования еще на этапе проектирования технологических процессов [3].

Используя нейронные сети, можно организовать имитационное моделирование, используя удачные решения, полученные в прошлом. Также, нейронные сети могут применяться для создания прогностических моделей производственной системы.

В докладе рассмотрена возможность применения нейронных сетей в алгоритмах оптимизации загрузки оборудования в условиях мелкосерийного производства, а также возможность применения нейронных сетей для имитационного и прогностического моделирования на основе удачных решений на основе предшествующего опыта. Предложены подходы к обучению моделей нейронных сетей для последующей оптимизации АСУ и САПР в условиях мелкосерийного производства.

Литература:

1. Типнер Л. М., Исакова Н. Р. Проблемы организации в условиях единичного и мелкосерийного производства // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2019. – №. 5-3. – С. 97-102.

2. Козуренко И. А. Принципы создания автоматизированных систем проектирования и управления технологическими процессами в условиях мелкосерийного производства // Гагаринские чтения-2019. – 2019. – С. 361-362.

3. Следков Ю. Г., Хорошко Л. Л., Кузнецов П. М. Управление бизнес-процессами в мелкосерийном производстве // СТИН. – 2022. – №. 1. – С. 29-33.

### **Система анализа данных EVMAI**

Богатырева Е.С., Гинзбург И.Б., Кондрашов Ю.Н., Туев А.А.  
МАИ, г. Москва, Россия

Анализ данных и машинное обучение являются одними из самых востребованных информационных технологий и обязательны для изучения при подготовке студентов различных направлений.

Студенты должны получить знания по теоретическим основам анализа данных и машинного обучения, умения использовать технологии анализа данных, навыки применения методов и алгоритмов анализа на основе современных аналитических пакетов и языков программирования.

Для достижения этих целей разработана учебная система анализа данных EVMAI на языке программирования Python с использованием PostgreSQL.

Система содержит структурированный набор алгоритмов для обучения технологиям анализа данных. Обладает возможностью обрабатывать исходные данные, проверять их корректность и осуществлять многовариантный анализ. Позволяет хранить большие объемы информации и обеспечивает представление результатов анализа в различных форматах. Пользователи могут оценивать качество моделей, созданных на основе обработанных данных, делать выводы, сохранять созданные модели для дальнейшего анализа и прогнозирования будущих событий на основе имеющихся данных. Система предназначена для организации очных и дистанционных лабораторных работ [1] и может быть интегрирована с учебными веб-приложениями [2].

Работая с системой, студенты получают навыки применения методов и алгоритмов анализа на основе аналитических пакетов Python, таких как NumPy, Pandas, Matplotlib, Scikit-learn, TensorFlow и др., в том числе с использованием удаленных источников данных и серверных вычислителей [3].

Преимуществами системы анализа данных EVMAI являются бесплатность, открытый исходный код и интуитивный интерфейс. Данная система, помимо имеющихся функций для работы с данными, включающими загрузку, обработку, анализ и визуализацию данных, позволяет пользователям разрабатывать собственные методы, тем самым развивая систему и расширяя ее функционал.

Литература:

1. Гинзбург И.Б., Ермаков А.А., Падалко С.Н. Технологии дистанционного проведения лабораторного практикума по инженерным дисциплинам // Alma Mater (Вестник высшей школы). 2023. №6. С. 94-102.

2. Гинзбург И.Б., Ермаков А.А., Падалко С.Н. Дистанционное обучение через Интернет с помощью специализированных веб-приложений // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. №11. С. 19-21.

3. Воробьева В.В., Гинзбург И.Б., Кондрашов Ю.Н., Изучение библиотек языка Python для анализа данных в среде JupyterLab // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. №4. С. 66-68.

### **Сравнение библиотек создания документов формата docx для языка программирования Golang**

Брянцев А.А., Кейно П.П., Завтур П.С.  
МАИ, г. Москва, Россия

Чтение технической документации трудоемкий процесс, требующий наличие соответствующего навыка. Студенты часто сталкиваются с проблемой оформления документов для лабораторных работ, для выпускной квалификационной (дипломной)

работы. Трудность представляет понимание ГОСТов. Зачастую работы выполнены без четкой структуры и только в некоторых очевидных местах соответствуют правилам.

ГОСТ — это государственный стандарт, который включает в себя требования государства к качеству продукции, его геометрические размеры, отклонения от эталона, оформлению документации и т.д.

Разработка интернет-сервиса, который бы упростил процесс создания шаблона необходимых типов документов, является перспективным и полезным проектом для использования человеком, который чувствует себя неуверенно при составлении документов.

Краткий анализ интернет-сервисов схожей направленности показал, что данный проект будет уникальным и новым, так как другие похожие сервисы работают уже с готовым текстом и не отслеживают правильность заполнения сложных документов. Они занимаются только внешним видом документов, чего явно недостаточно.

В данном докладе будет представлен сравнительный анализ библиотек создания документов формата docx для языка программирования Golang.

Так как интернет-сервис является высоконагруженным, основным критерием отбора библиотеки является скорость создания документов. Также, так как сервис планируется масштабируемым необходимо обратить внимание на простоту использования библиотеки.

Целью данной работы является выбор наиболее эффективной и гибкой библиотеки на основе данных критериев.

Литература:

1. Джон Боднер Go: идиомы и паттерны проектирования. — СПб.: Питер, 2022. © ООО Издательство "Питер", 2022

2. Т.В. Зудилова, С.В. Одиночкина, И.С. Осетрова, Н.А. Осипов Работа пользователя в Microsoft Word 2010 - СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 100 с

### **Алгоритм комплексирования сигналов различных навигационных систем планирующего летательного аппарата с применением методов нечеткой логики**

Буриков М.В.

ВА РВСН им. Петра Великого, г. Балашиха, Россия

Проведение внешней коррекция гиросистемы на базе трехосного гиостабилизатора путем введения в качестве корректирующего сигнала разности в значении азимута полета, измеренного с помощью гиросистемы, и азимута, рассчитанного с помощью другой навигационной системы, дает возможность компенсировать значительные ошибки в определении текущего азимута, накопившиеся за время полета планирующего летательного аппарата, при условии, что корректирующая система точнее корректируемой.

Корректирующие системы (спутниковая, астроследящая и др.) в зависимости от различных условий применения могут функционировать как в штатном, так и в нештатном режимах работы. Из этого следует, что комплексирующая система, исходя из складывающейся обстановки, должна уметь автоматически исключать полностью или частично те или иные корректирующие системы.

Исходя из того, что в качестве корректирующего сигнала предлагается использовать разность значений азимута полета, комплексировать будет целесообразно сигналы разности значений азимута полета, измеренного гиросистемой и другими навигационными системами, участвующими в комплексировании.

Информацию, полученную сравнением показаний навигационных систем, достаточно сложно интерпретировать точно и определенно. В свою очередь, в теории нечетких множеств имеется широкий набор математических средств, позволяющих отражать нечеткость исходной информации, что дает возможность в конечном итоге получить четкое число и построить адекватную модель.

Алгоритм комплексирования сигналов коррекции строится так, чтобы из рассмотрения исключались сигналы, несущие разность значений азимута полета, которые не попадают в «основание» треугольника функции принадлежности.

Литература:

1. Дьяконов В.П., Круглов В.В. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики, М. СОЛОН-ПРЕСС, 2006.
2. Понятский В.М., Горин А.В. Комплексование сигналов от неравноотчных информационных систем с помощью нечеткой логики, International Journal of Open Information Techonologies, 2019.

### **Возможности использования цифровых датчиков при автоматизации технологических процессов в приборостроении**

Ванцов С.В., Хомутская О.В., Лийн Е.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Подход в слежении за состоянием наиболее эффективно проявляет себя при управлении и регулировании быстропротекающих технологических процессов, характерных для большинства областей приборостроительного производства.

Под быстропротекающими процессами понимаются такие, в которых изменение параметров состояния процесса соизмеримо со случайной погрешность измерения контролируемых сигналов. К ним можно отнести практически все дискретные технологические процессы, такие как процессы механической обработки и сборки.

Традиционно в технологических процессах датчики, контролирующие состояние процесса, являются аналоговыми, осуществляющими контроль температуры, усилия, концентрации растворов и т.п. Скорость обработки аналогового сигнала в среднем составляет десятки секунд и, соответственно, скорость реагирования на изменение состояния процесса системой регулирования будет составлять несколько минут.

Для быстропротекающих процессов, длительность которых определяется иногда долями секунды, такая скорость обработки сигналов, отвечающих за состояние процесса, является критической.

Выходом из этой ситуации является применение цифровых датчиков измерения параметров состояния процесса и цифровой обработки их сигналов.

Цифровая обработка контрольных сигналов позволяет:

1. Осуществлять слежение за критически значимыми параметрами быстро протекающих технологических операций.
2. Выявлять превышение контролируемым параметром в течение быстро протекающего цикла технологической операции.
3. За счёт скорости цифровой обработки контрольных сигналов отнести процесс изменения параметров состояния в течение одного цикла технологической операции к квазидетерминированному, несмотря на принципиально случайный характер их изменения от цикла к циклу.
4. Повысить точность определения значений параметров за счет статистической обработки повторных измерений.

Это же определяет и переход от традиционных для производства статистических методов оценки состояния быстропротекающих технологических процессов, позволяющих осуществлять управление ими только постфактум, к методам сбора и оценки данных о параметрах и режимах технологических операций в реальном масштабе времени.

Высокие частоты опроса датчиков состояния процесса и цифровая обработка контрольных сигналов ведут к повышению степени управляемости технологическими процессами в целом и позволяют реализовывать схемы оперативного управления процессом производства, что в свою очередь ведёт к снижению доли бракованной продукции и повышению общего уровня качества выпускаемых изделий.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных — кандидатов наук (МК-582.2022.4).

Литература:

1. Ванцов С.В., Васильев Ф.В., Хомутская О.В., Особенности управления технологическими процессами в условиях цифрового производства // В книге: Современные технологии в задачах управления, автоматки и обработки информации. тезисы докладов

XXXI Международной научно-технической конференции. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). Москва, — 2022. — с. 59.

2. Коробков М.А., Вероятностная модель изготовления бездефектной печатной платы в зависимости от параметров её проектирования на этапе сверления отверстий // В книге: Авиация и космонавтика. тезисы 21ой международной конференции. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). Москва, — 2022. — с. 229-230.

### **Определение критических параметров рамочных микрооптоэлектромеханических преобразователей угловой скорости методом статистических испытаний**

Васецкий С.О.

МАИ, г. Москва, Россия

Микрооптоэлектромеханические (МОЭМ) преобразователи угловой скорости объединяют в себе преимущества оптических и микроэлектромеханических технологий. Они находят широкое применение в малагабаритных инерциальных системах управления летательными аппаратами [1].

Исследование и анализ статических и динамических характеристик МОЭМ преобразователей является актуальной задачей, решение которой позволяет оптимизировать их конструкцию, повысить точность в различных условиях эксплуатации. Одним из методов, используемых для исследования таких характеристик, является метод Монте-Карло [2].

Исходными данными при проектировании МОЭМ преобразователей угловой скорости могут быть: масштабный коэффициент, диапазон измеряемых угловых скоростей, требования по нелинейности выходной характеристики, максимальная относительная погрешность измерения угловой скорости. Выходной сигнал рамочного МОЭМ преобразователя зависит от выбранных значений параметров узла оптического считывания, рамочного чувствительного элемента, гребенчатого электростатического привода. Задачу выбора параметров можно решить с помощью выявления наиболее сильно влияющих параметров оптических и электромеханических элементов преобразователя на масштабный коэффициент.

Перед определением коэффициентов влияния была составлена математическая модель рамочного МОЭМ преобразователя угловой скорости и проведен ее анализ. Определены основные параметры рамочного МОЭМ преобразователя угловой скорости, используемые при моделировании.

Получена функция преобразования угловой скорости в выходное напряжение преобразователя для заданного диапазона измерений угловой скорости и крутизны статической характеристики. Полученные значения параметров узла оптического считывания, рамочного чувствительного элемента, гребенчатого электростатического привода записаны в виде вектора параметров.

Для получения количественных оценок параметров преобразователей, определения степень их влияния на характеристики готового преобразователя и ключевые параметры, к которым предъявляются высокие технологические требования, использован метод Монте-Карло. Проведено моделирование статистических испытаний методом Монте-Карло с равновероятным распределением величины каждого параметра вектора, принимая допущение, что все кроме  $i$ -го параметра соответствуют номинальным. Показано, что критически важными параметрами являются геометрические размеры упругих подвесов чувствительного элемента, электростатический привод возбуждения колебаний, угол падения оптического излучения в узле оптического считывания. Определено, что при заданных допусках к параметрам погрешность масштабного коэффициента МОЭМ преобразователя угловой скорости составляет 8,6%, которую можно компенсировать с помощью последующих калибровок.

Данный подход может быть использован при разработке методов тестирования на этапах проектирования рамочных МОЭМ преобразователей угловой скорости, что важно для обеспечения надежной работы в реальных условиях эксплуатации.

Литература:

1. Huang W., Zhang S., Li Z., Hassan J., & Chen D., Wen G., Chen K., Guangwei D., Huang Y. / MEMS and MOEMS Gyroscopes: A Review // Photonic Sensors – 2023. - № 13 (4). <https://doi.org/13.10.1007/s13320-023-0693-x>.

2. Орлов, А. И. Метод статистических испытаний в прикладной статистике / А. И. Орлов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2019. – Т. 85, № 5. – С. 67-79. – <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2019-85-5-67-79>.

### **Разработка интеграции микросервисов планирования для задач сопровождения производства**

Ветров С.Ю., Семенов Г.Е.

МАИ, г. Москва, Россия

Современные промышленные предприятия сталкиваются с необходимостью эффективного управления производственными процессами и ресурсами для достижения максимальной производительности и конкурентоспособности. Эффективное сопровождение производства, включая задачи планирования и управления, становится критически важным элементом успешной операционной деятельности предприятия.

Современные изделия машиностроения при проведении разукладки включают большое число иерархических фрагментов, состоящих из нескольких тысяч деталей, материалов и сборочных единиц. Предлагаемые алгоритмы планирования включают модули, основанные на методах линейного программирования и генетических алгоритмах. Задача нахождения оптимального плана является неполиномиальной и даже для получения приблизительных оценок требуется построение распределенных систем.

В этом контексте микросервисная архитектура становится все более популярным подходом к созданию гибких и масштабируемых систем для планирования и управления производственными процессами [1]. Микросервисы предоставляют возможность декомпозировать сложные системы на небольшие, автономные и независимые компоненты, что упрощает разработку, обслуживание и масштабирование [2].

Однако для эффективного планирования и управления производством требуется не только гибкая архитектура, но и использование продвинутых методов оптимизации и планирования в условиях ограниченности ресурсов.

Методы оптимизации и планирования в условиях ограниченности ресурсов являются мощными инструментами для решения задач оптимизации в промышленности. Они позволяют находить оптимальные решения, учитывая ограничения и целевые функции. Важной особенностью этих методов является их способность работать с большими объемами данных и сложными системами.

В данной работе является основной задачей является разработка и интеграция микросервисов планирования в уже существующую систему на предприятии. Предложена архитектура микросервисов планирования, подготовки конструкторско-технологических данных и принципы их взаимодействия между собой через REST API и брокеров сообщений Kafka. Данное решение позволяет масштабировать систему планирования, внедренную на машиностроительном предприятии и при увеличении вычислительной мощности системы оперативно генерировать производственные планы, запускать в производство и интегрироваться с сервисами мониторинга.

Литература:

1. Обзор паттернов интеграции микросервисов. Часть 1. — Текст: электронный // Хабр: [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/companies/slurm/articles/679906/>

2. Обзор паттернов интеграции микросервисов. Часть 2. — Текст: электронный // Хабр: [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/companies/slurm/articles/681326/>

## **Разработка методики по автоматизированному развёртыванию системы с заданным уровнем безопасности**

Виноградов И.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В условиях постоянно возрастающей цифровой уязвимости и активных киберугроз, обеспечение надежной информационной безопасности становится одним из главных приоритетов в области информационных технологий.

В данной работе представляется методика автоматизированного развертывания информационной системы с учетом заданного уровня информационной безопасности, что является важным шагом в обеспечении устойчивости и надежности современных информационных систем. Рассматриваемая методика базируется на анализе современных технологических решений в области информационной безопасности, а также на определении ключевых этапов и компонентов процесса развертывания системы, обеспечивая тем самым оптимальное сочетание функциональности и безопасности при создании информационных систем.

Для решения поставленной задачи по обеспечению информационной безопасности и непрерывной работоспособности информационных систем необходимо разработать систематический и надежный подход, который позволит эффективно интегрировать все необходимые элементы безопасности в процесс развертывания системы. Данный подход должен учитывать разнообразные угрозы и уязвимости, которые могут возникнуть в различных сценариях использования информационной системы [1], а также обеспечивать возможность быстрой адаптации и обновления мер безопасности в ответ на изменяющуюся обстановку.

В данной работе для создания методики автоматизированного развертывания системы с заданным уровнем информационной безопасности были проведены следующие этапы:

1. Анализ угроз и уязвимостей: необходимо провести всесторонний анализ потенциальных угроз и уязвимостей, которые могут затронуть информационную систему. Этот анализ формирует основу для определения требуемого уровня безопасности.

2. Определение требований к безопасности: на основе анализа угроз и уязвимостей определяются конкретные требования к безопасности системы.

3. Разработка архитектуры безопасности: создание архитектуры, которая включает в себя необходимые меры безопасности, такие как аутентификация, авторизация, шифрование и мониторинг. Эти меры должны быть интегрированы в архитектурные решения информационной системы [2].

Разработка методики, охватывающей все перечисленные аспекты, позволит создать информационную систему, которая не только соответствует установленному уровню безопасности, но и способна эффективно справляться с изменяющейся информационной угрозой, что является критически важным в современных технологических компаниях.

В заключение, разработанная методика по автоматизированному развертыванию системы с заданным уровнем информационной безопасности предоставляет важный фундамент для обеспечения надежности, эффективности и защищенности информационных систем. Этот подход не только снижает риски уязвимостей, но и способствует увеличению производительности и сокращению времени развертывания [3]. Дальнейшие шаги включают в себя разработку прототипа, основанного на данной методике, что позволит более конкретно оценить применимость и эффективность предложенного подхода в реальных условиях.

Литература:

1. Ньюен С. Создание микросервисов. – "Издательский дом"" Питер""", 2018.
2. Ibram B., Huss R. Kubernetes Patterns. – "O'Reilly Media, Inc.", 2022.
3. Крис Р. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга. – "Издательский дом"" Питер""", 2019.

**Использование данных, полученных от средств авиационного и космического мониторинга о чрезвычайных ситуациях, в управляемых информационных процессах, в целях защиты населения и территории**

Воронов О.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Система реагирования на предупреждение ЧС в настоящее время направлена на внедрение современных информационных технологий в деятельность органов повседневного управления РСЧС.

Имеющаяся в МЧС России информация обрабатывается с применением технологий искусственного интеллекта. Строятся модели развития возможной обстановки, которые доводятся до органов управления всех уровней для принятия заблаговременных управленческих решений, направленных на недопущение и минимизацию ущерба.

Характер мониторинга ЧС обуславливает необходимость использования специальных подходов в вопросах сбора обработки и подготовки оперативной информации при оповещении и информировании населения, а также при преодолении их последствий и восстановительных работ. Эффективное информирование населения позволяет избежать паники, и снизить ущерб от последствий этих ситуаций.

В МЧС России создана система космического мониторинга и на вооружение ставятся многофункциональные беспилотные авиационные системы, которые позволяют выполнять весь комплекс разведывательных и специальных задач в ходе проведения превентивных мероприятий и при ликвидации последствий половодья, паводка и природных пожаров.

При угрозе и возникновении ЧС информационные процессы (ИП), связанные с этими ситуациями, должны быть управляемыми. Управление такими ИП должно опираться, прежде всего на своевременно полученные и достоверные данные о состоянии обстановки в районе ЧС в достаточном количестве для адекватной оценки обстановки и принятия своевременных решений в отношении мероприятий, направленных на защиту населения и преодоление последствий этих ситуаций. Оперативное получение, обработка данных, а также доведение достоверной и полезной информации предметно и адресно до соответствующих должностных лиц и в целом до населения является одним из основных факторов обеспечения безопасности жизни людей, сохранения материальных и культурных ценностей в условиях ЧС.

В случае крупномасштабных ЧС активируется Международная Хартия по космосу и крупным катастрофам, которая позволяет получать снимки от международных космических агентств.

С целью повышения точности моделирования и формирования архива последствий ЧС наращивается база данных ортофотопланов, которые строятся на основе аэрофотосъемки с беспилотных авиационных систем МЧС России.

Кроме систем мониторинга, в том числе космического и авиационного базирования, для обеспечения информирования населения и должностных лиц, принимающих решения по реагированию на ЧС, могут использоваться данные из других различных источников. При возникновении ЧС используется целый ряд разнородных источников. Их можно классифицировать на 3 основных вида: системы мониторинга, в т.ч. авиационного и космического; открытые источники, в т.ч. соцмедиа и СМИ; информационные системы различных взаимосвязанных и взаимодействующих структур, в т.ч. центров по экспертной научно-технической поддержке, РСЧС, силовых и др. структур. Рассматриваемые управляемые ИП в виде алгоритма отражены на рисунке 1.

Системы мониторинга, в т. ч. авиационного и космического, являются наиболее приоритетными источниками. Оперативные данные, получаемые от них, следует использовать в качестве наиболее достоверных, так как информация, получаемая от систем мониторинга, прежде всего опирается на данные измерений параметров обстановки в районе ЧС. Эта информация может быть использована в качестве эталонной для корректировки информации от прочих источников и при системной оценке обстановки в целом.

## **Сравнительный анализ RabbitMQ и Apache Kafka в контексте решения задачи взаимодействия между сервисами доставки уведомлений и сервисом формирования уведомлений**

Гусев А.Г., Денисов В.А., Новиков А.Ю.  
МАИ, г. Москва, Россия

В данной работе проводится сравнительный анализ двух популярных систем обмена сообщениями: Apache Kafka и RabbitMQ, с учетом их соответствий и различий, преимуществ и недостатков в различных сценариях использования. При выборе одной из них, разработчики часто задаются двумя вопросами: по каким критериям они сравниваются между собой и какую из них следует использовать? В ходе работы рассматривается пример использования этих систем в реальном проекте, а также делается акцент на том, какую предпочтительнее выбрать разработчикам основываясь на требованиях их проектов. Вместе с тем были рассмотрены основные функциональные возможности и оптимальные варианты использования. Было проведено сравнение и анализ двух систем на примере взаимодействий между сервисами доставки уведомлений и сервисом формирования уведомлений. В рамках данной работы были разработаны сценарии позволяющие показать преимущества и недостатки обеих систем обмена сообщениями. Обе системы имеют свои преимущества и недостатки, и выбор между ними зависит от конкретных требований проекта и предпочтений разработчика.

Apache Kafka характеризуется высокой производительностью и возможностью обрабатывать большие объемы данных. Она также обладает возможностью масштабирования, но при этом требует значительных ресурсов и может оказаться сложной в настройке для начинающих.

С другой стороны, RabbitMQ является более простой и удобной в использовании системой. Она обладает меньшей производительностью и масштабируемостью по сравнению с Apache Kafka, однако, ее простота и гибкость делают ее привлекательным выбором для многих разработчиков в проектах с небольшой нагрузкой

## **Расчет выходных фильтров систем электропитания с многозонным регулированием**

Дроздова А.А., Владимир Авдзейко В.И.  
ТУСУР, г. Томск, Россия

Системы электропитания (СЭП) с передачей электроэнергии по кабелю широко используются при создании буксируемых глубоководных аппаратов, летательных аппаратов, космических станций и в др. СЭП, у которых на выходе кабеля используется целый комплекс измерительных приборов. Такие системы из-за потерь в кабеле должны иметь большой диапазон регулирования (ДР), высокое качество выходных параметров, оказывать малое влияние на первичный источник электропитания.

Традиционные пути построения СЭП не отвечают предъявляемым требованиям, т.к. увеличение ДР достигается при значительном снижении качества выходных параметров и потребляемого тока, а, следовательно, ухудшении массогабаритных показателей (МГП), динамических и регулировочных характеристик создаваемых СЭП.

Для расширения ДР и повышения качества выходных параметров в работе [1] был предложен способ многозонного регулирования (МР) выходных параметров преобразователей напряжения переменного тока и доказана перспективность применения МР в преобразовательной технике. МР в СЭП постоянного тока основано на разбиении полного диапазона на несколько зон регулирования (I) с равной величиной напряжения. Дискретное регулирование осуществляется переключением из одной зоны в другую, а плавное методами ШИМ внутри каждой зоны. Способ МР характеризуется наличием в форме выходного напряжения и потребляемого тока двух составляющих: постоянной нерегулируемой ( $U_{нр}$ ) и импульсной регулируемой ( $U_{рег}$ ). Величина относительной импульсной составляющей  $\rho$  влияет на массогабаритные показатели входных и выходных фильтров, а количество формируемых зон на ДР выходного напряжения. Основными достоинствами МР являются улучшение МГП, снижение влияния на питающую сеть, а главное – расширение ДР СЭП постоянного тока.

МГП СЭП постоянного тока во многом определяются величиной параметров входных и выходных фильтров. Традиционным путём снижения величины, а, следовательно, габаритов и стоимости их элементов является повышение частоты коммутации полупроводникового ключа при полной глубине модуляции формы напряжения. Коммутация потока энергии от первичного источника в нагрузку в таких схемах приводит к большим пульсациям напряжения на нагрузке и тока, потребляемого от первичного источника питания.

Одним из путей уменьшения МГП и повышения качества выходного напряжения и потребляемого тока является построение СЭП с МР. В работе выявлены зависимости параметров элементов фильтра от величины относительной импульсной составляющей и разработана методика расчета выходных фильтров при наличии постоянной составляющей в форме входного тока. Для оценки погрешности предлагаемой методики проведено моделирование в программе MATLAB Simulink, результаты которого показали величину отклонения в пределах, допустимых для инженерных расчётов. Обоснована перспективность применения многозонного регулирования для снижения МГП СЭП.

Величины пульсаций тока дросселя и напряжения на конденсаторе прямо-пропорциональны величине импульсной составляющей на входе фильтра и достигают максимальной величины при равенстве длительности процессов заряда и разряда конденсатора. МР позволяет расширять ДР, снижать величины пульсаций потребляемого тока и выходного напряжения. По сравнению с традиционными однотактными источниками питания способ МР позволяет значительно уменьшать параметры выходных фильтров.

1. Кобзев А.В. Многозонная импульсная модуляция. Новосибирск: Наука, 1979. 304 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда № 23-29-0403

#### **Создание адаптивной системы автоматического управления углом тангажа пассажирского автопилота**

<sup>1</sup>Дружинин А.А., <sup>2</sup>Быканов В.Д., <sup>2</sup>Пашин А.В., <sup>3</sup>Адамян К.И.

<sup>1</sup>ПАО «Яковлев», <sup>2</sup>МГТУ ГА, <sup>3</sup>МАИ, г. Москва, Россия

В последние годы наблюдается значительный интерес к разработке адаптивных систем управления полетом, с целью решения основной проблемы классического автопилота - его статичности к возмущающим воздействиям. Традиционно автопилоты проектируются с использованием линеаризации математических моделей и подбора переходных коэффициентов. Однако, такой подход имеет свои ограничения.

В данной статье предлагается создание нелинейного автопилота по контуру тангажа, который будет основан на реконфигурируемой системе автоматического управления полетом. Основной задачей проектирования является разработка алгоритма управления, способного корректировать свои параметры на всем диапазоне полета самолета и перенастраиваться после сбоев и отказов измерительных приборов.

Для достижения этой цели, используется реконфигурируемая система управления полетом в качестве внутреннего контура и нелинейный компенсатор в качестве внешнего контура. Внутренний контур обеспечивает отслеживание команд скорости тангажа с использованием контроллера эталонной модели и стабилизированного рекурсивного алгоритма наименьших квадратов. Внешний контур основан на линейной конструкции с компенсацией известных нелинейных связей и адаптацией к двум параметрам.

Одной из основных задач проектирования является определение желаемой динамики замкнутой системы. Хотя желаемая динамика определяется через линейную математическую модель, автопилот должен управляться и работать с необработанными данными нелинейной динамики полета. Для достижения этой цели, требуется минимальная предварительная информация, которая принимает форму желаемой динамики замкнутого контура и пределов, указанных пользователем.

Полученные результаты показывают, что разработанный нелинейный автопилот по тангажу обладает значительным запасом устойчивости и малой величиной перерегулирования, в отличие от традиционного автопилота. Адаптация к условиям полета и отказам происходит автоматически за счет адаптации в реальном времени.

В заключение, создание адаптивной системы автоматического регулирования тангажа пассажирского автопилота является важным шагом в развитии авиационных технологий. Эта система позволяет повысить стабильность и безопасность полета, а также обеспечить комфорт для пассажиров. Дальнейшие исследования и разработки в этой области могут привести к еще более эффективным и адаптивным системам управления полетом.

Литература:

1. Ward, D., Monaco, J., & Bodson, M., "Development and Flight Testing of a Parameter Identification Algorithm for Reconfigurable Control," *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 2, no. 6, 1998, pp. 948-956.

2. Дружинин, А. А. Математическая модель системы автоматического управления с проработкой имитационной модели / А. А. Дружинин, А. Г. Демченко // *Авиация и космонавтика: тезисы 21ой международной конференции*, Москва, 21–25 ноября 2022 года / Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – Москва: Издательство Перо. 2022. – С. 209-211. – EDN CFWWWV.

3. Дружинин, А. А. Имитационная модель замкнутой системы «самолёт - автопилот угла тангажа» / А. А. Дружинин // *Гагаринские чтения - 2022: Сборник тезисов работ международной молодёжной научной конференции XLVIII*, Москва, 12–15 апреля 2022 года. – Москва: Издательство "Перо", 2022. – С. 60. – EDN TLEAIE.

### **Исследование возможности применения СВЧ МЭМС-переключателя в спутниковых системах связи и радиолокации**

Дрягин И.О., Белевцев А.М., Епанешникова И.К., Крючков В.Л.  
МАИ, г. Москва, Россия

Создание электронной компонентной базы на основе технологий микро-электромеханических систем (МЭМС) является одним из основных трендов развития современной микроэлектроники. Это обусловлено возможностью получения принципиально новых электрофизических свойств, полученных на основе МЭМС технологий. В настоящее время в коммутационных СВЧ устройствах все чаще используются переключатели, выполненные по технологии микро-электромеханических систем, которые потенциально могут заменить полупроводниковые радиочастотные компоненты, используемые в современных системах спутниковой связи. Во многих случаях такие радиочастотные МЭМС-компоненты не только существенно уменьшили бы размер, вес и энергопотребление, но и улучшили производительность по сравнению с полупроводниковыми аналогами. Одним из наиболее важных факторов при проектировании космического аппарата является вес. Уменьшая вес космического аппарата, можно увеличить полезную нагрузку, что повышает маневренность, а также снижает стоимость запуска. Именно поэтому модернизация громоздких и тяжелых компонентов космических носителей, коммуникационных и навигационных платформ является актуальной задачей.

СВЧ переключатели на основе микросистемной техники обладают потенциалом замены многих механических и полупроводниковых переключателей, используемых в системах мобильной и спутниковой связи. Устройства на основе микросистемной техники, такие как переключатели, фазовращатели, коммутируемые антенны, усилители, направленные ответвители [1], фильтры [2] стали критически важными для увеличения возможностей спутников связи при одновременном значительном снижении веса и стоимости запуска. Это важно не только для крупных спутников, использующих фазированные антенные решетки и коммутационные матрицы, которые развертываются в группах для передачи данных, но и в случае наноспутников, которые представляют собой очень маленькие, легкие космические аппараты, содержащие микроэлектронное оборудование, компоненты на основе микросистемной техники и полезную нагрузку. По сравнению с механическими коаксиальными или волноводными устройствами и PIN-диодами, СВЧ МЭМС-переключатели обеспечивают превосходные радиочастотные характеристики при низких вносимых потерях, высокой изоляции и высокой линейности, а также обладают низким энергопотреблением и небольшими размерами.

Также стоит отметить одну из главных характеристик, влияющей на работу СВЧ устройств в системах спутниковой связи – это радиационная стойкость к излучению. Антенные системы спутниковой связи наиболее требовательны к данной характеристике. Механический принцип переключения СВЧ МЭМС-переключателя позволит избежать выхода из строя спутниковой электроники.

[1] Конов, К. И. Электродинамическое моделирование частотных характеристик направленного ответвителя диаграммообразующей системы фазированной антенной решётки / К. И. Конов, В. Г. Жилков, А. А. Осипов // Вестник Концерна ПВО Алмаз-Антей. – 2015. – № 3(15). – С. 20-28. – EDN UYVVVT

[2] Дризе, А. Д. Численное электродинамическое моделирование волноводного режекторного фильтра для станции спутниковой связи / А. Д. Дризе, К. И. Конов // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. – 2019. – № 1. – С. 472-476. – EDN ZHKFVN

### **Методика обратной разработки алгоритма работы конвертеров различных форматов данных**

Дубровин Д.М., Кейно П.П.  
МАИ, г. Москва, Россия

Обратная разработка или реверс-инжиниринг – это процесс анализа программного обеспечения, с целью узнать, как оно работает.

Обратная разработка приложений работающих с различными форматами данных, включая закрытые, имеет свои особенности. Часто реверс-инжиниринг алгоритма конвертеров различных форматов данных, проводится не затем, чтобы полностью понять сам алгоритм, а для того, чтобы определить структуру закрытого формата данных, используемого этим алгоритмом, с целью дальнейшего использования этого формата. Для того чтобы разъяснить отличия обратной разработки подобных программ и ускорить их реверс-инжиниринг требуется методика обратной разработки подобных приложений.

Реверс-инжиниринг программного продукта в основном проводится с помощью следующих методик: дизассемблирование, декомпиляция, анализ данных, использование отладчиков. У этих методик есть серьезные недостатки, например, декомпиляция требует специального программного обеспечения и не подходит для некоторых программ, использование только одного анализа входных и выходных данных не позволяет полностью понять принцип работы алгоритма, а процесс дизассемблирования, конечно, подходит для всех типов программ, но требует довольно много времени, особенно для неспециалиста. Поэтому в специализированной методике описывается смешанный подход, то есть комбинация всех перечисленных методик обратной разработки.

Основной частью методики является использование интерактивного дизассемблера IDA Pro. С помощью данного дизассемблера определяются библиотечные функции, например, функции чтения и записи в файл, анализируя которые можно узнать структуру исследуемого бинарного файла. Также используя этот дизассемблер можно определить глобальные структуры данных, анализ которых приводит к пониманию исследуемых алгоритмов.

Также в процессе реверс-инжиниринга необходимо активно применять отладчик для динамичной обратной разработки, например, чтобы исследовать часть файла рассматриваемого формата, используемого программой в данной функции. Также следует пользоваться Нех-редактором для чтения бинарных файлов. Необходимо создавать тестовые файлы исследуемого закрытого формата и анализировать их, определяя отличия этих файлов и находя закономерности, тем самым определяя структуру формата. Все перечисленные подходы также присутствуют в созданной методике.

С помощью данной методики была решена проблема использования устаревших форматов схем печатных плат, созданных в программе P-CAD 4.5. Данные форматы схем требовалось преобразовать в современный графический формат. Но так как формат схем был закрытым, необходимо было обратно разработать программу PDIFOUT, использующую этот закрытый формат, и определить структуру этого формата. Поставленная задача реверс-инжиниринга была успешно выполнена с помощью созданной методики.

#### Литература:

1. Разработка программного комплекса преобразования документов проектирования печатных плат САПР P-CAD и обратная разработка форматов схем. Дубровин Д.М. [Электронный ресурс] / URL: <https://gagarin.mai.ru/files/2023/abstracts2023.pdf> (дата обращения: 18.10.2023).
2. Касперски К., Рокко Е. Искусство дизассемблирования. - М.: БХВ-Петербург, 2008. – 891 с.
3. IDA Pro и техники реверс-инжиниринга [Электронный ресурс] / URL: <https://habr.com/ru/companies/infonion/articles/493416/> (дата обращения: 18.10.2023).

### **Разработка программно-аппаратного комплекса синтезатора музыкальных инструментов и ритмов**

Егоров А.В., Кейно П.П.

МАИ, г. Москва, Россия

Разработка программно-аппаратного комплекса синтезатора музыкальных инструментов и ритмов.

В качестве основы для проекта выбран синтезатор Лель-28, такой выбор обосновывается его доступностью и простотой модернизации.

Основными проблемами, с которыми сталкивается пользователь ЛЕЛЬ-28 являются:

- Низкая информативность встроенного 7-сегментного дисплея.
- Малое количество звуковых пресетов и невозможность их настройки.
- Низкое соотношение сигнал/шум выходного сигнала.
- Высокая нелинейность АЧХ в диапазоне нижних и верхних рабочих частот.
- Невозможность тонкой настройки без доступа к внутренностям устройства и доп.оборудования.
- Невозможность детализации действий при использовании устройства по прямому назначению.
- Малая корреляция с реальным (физическими) музыкальным инструментом в плане звучания (почти полное отсутствие обертонов).

Решением вышеперечисленных проблем является внесение изменений в аппаратную часть устройства, а также использование программной составляющей в целях проведения детальной настройки работы устройства: написание собственных звуковых пресетов, детальная запись нажатий на клавиши, система помощи в обучении, возможность подключения беспроводных источников звука (наушники, аудиоцентр).

Программная часть комплекса включает в себя:

- 1) Программу управляющего контроллера (используемые ЯП: CMSIS, C, C++).
- 2) Web-интерфейс конечного пользователя (используемые стеки: React, PostgreSQL).
- 3) Программу для генерации звуковых сэмплов (целевые платформы Android, Windows, Linux).
- 4) Программу программатор для заливки и отладки ПО нижнего уровня.

Аппаратная часть комплекса включает в себя:

- 1) Основной контроллер для работы всей системы.
- 2) Дополнительный контроллер для работы со звуком (DSP).
- 3) Блок считывания нажатий на клавиши (Сдвиговые регистры/мультиплексоры).
- 4) Блок Bluetooth/Wi-Fi (контроллеры по типу esp32).
- 5) Усилительный и предусилительный каскады.
- 6) Тембрблок для выходного устройства.
- 7) Блок питания все системы.

#### Литература:

1. Бьерн Страуструп: Язык программирования C++.
2. ARM Microcontrollers Programming for Embedded Systems: STM32F4-Discovery CMSIS and HAL-API in IAR-EWARM or Keil-MDK.
3. Ульрих Титце, Кристоф Шенк: Полупроводниковая схемотехника. Том 1.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов.

### **Обзор технологии KSP для применения в Android разработке**

Есипов А.А., Шевченко М.И.

МАИ, г. Москва, Россия

KSP (Kotlin Symbol Processing) – это мощный инструмент, который позволяет разработчикам создавать эффективные плагины для компилятора Kotlin. Основная цель KSP заключается в анализе существующего кода на Kotlin и создании файлов на основе этого анализа. Однако KSP также поддерживает анализ Java кода, если вы работаете с JVM. Важно отметить, что KSP не предоставляет средства для записи содержимого в файлы. Здесь разработчику плагина придется самостоятельно решить, какие данные и каким образом будут записаны в файлы. Однако KSP устанавливает некоторые требования к процессу создания файлов из-за своей внутренней логики работы. Одно из ключевых преимуществ KSP заключается в том, что он выполняется перед этапом компиляции, а не в рантайме, что может значительно повысить производительность и оптимизировать процесс разработки. Кроме того, KSP полностью интегрируется с Kotlin Multiplatform, что позволяет разрабатывать плагины, совместимые с различными платформами, такими как JVM, Android, iOS и другие. Это открывает широкие возможности для создания переносимого кода и повышения эффективности разработки при работе с множеством платформ. В итоге, благодаря KSP, разработчики Kotlin могут создавать мощные и гибкие плагины для компилятора, которые позволяют автоматизировать и упростить процесс разработки.

Есть несколько ограничений, которые следует учитывать при работе с KSP. Во-первых, KSP не предоставляет возможности анализировать код на уровне выражений. Это означает, что вы можете получить информацию о классах, их свойствах и методах, но нельзя проанализировать содержимое конкретного метода. Во-вторых, KSP не позволяет модифицировать существующие файлы. Вы можете использовать его для создания новых файлов с готовыми шаблонами или для генерации кода на основе определенных правил и параметров. Он также обеспечивает интеграцию с другими инструментами разработки, что позволяет вам создавать более сложные плагины и расширять функциональность KSP.

При развертывании KSP происходит последовательность действий. Сначала программа обращается к определенному файлу, где содержатся имена классов-наследников "SymbolProcessorProvider". После этого KSP создает экземпляры каждого из указанных классов-провайдеров. Основная задача этих классов заключается в создании новых процессоров KSP. Поочередно используя, эти провайдеры, KSP последовательно создает процессоры, которые в свою очередь позволяют анализировать код.

KSP может быть запущен в процессе сборки Android проекта для всех модулей, к которым модули с реализованными KSP плагинами подключены.

Провайдеры фактически являются аналогом точек входа в программу. Они предоставляют возможность инициализировать все необходимое для работы процессора и создать его экземпляр по предпочтению.

Достаточно заметить, что каждый процессор создается только один раз, что позволяет сохранять информацию между раундами работы. Интерфейс процессора состоит из нескольких методов: Методы finish и onError вызываются после завершения всех раундов работы. В случае успешного выполнения работы вызывается метод finish, в противном случае – метод onError.

1. Сайт ЯП Kotlin - URL: <https://kotlinlang.org/docs/ksp-overview.html> (дата обращения 11.10.2023).

2. Практическое применение KSP - URL: <https://nuancesprog.ru/p/17866> (дата обращения 12.10.2023)

3. Репозиторий KSP - URL: <https://github.com/google/ksp> (дата обращения 11.10.2023)

4. API KSP - URL: <https://kotlinlang.org/docs/ksp-overview.html> (дата обращения 13.10.2023)

## Применение алгоритма Mapper в задаче визуализации многомерных данных

Зайцев М.Д., Копылов Д.А., Хомутская О.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Точность предсказания систем глубокого обучения зависит от качества и характера используемых обучающих данных [1]. Предварительный анализ обучающих данных – важная задача в процессе разработки и обучения моделей. Один из методов предварительного анализа данных – интерпретация их визуального представления [2, 3].

Процесс визуализации. Пусть  $X$  являются обучающими данными, каждый вектор которых имеет размерность  $d$ . К набору данных  $X$  применяется отображение  $f$ , результатом которого является  $Z$  – промежуточное представление, в котором отражены значимые характеристики исходных данных. Далее применяется алгоритм понижения размерности, например, T-SNE или UMAP. На выходе получается низкоразмерное представление  $M$ .

В роли отображения  $f$  могут выступать алгоритмы топологического анализа данных (Topological Data Analysis) [4]. Эти алгоритмы отображают данные высокой размерности в топологическое пространство, выделяя внутреннюю структуру и свойства, которые часто скрыты в исходном многомерном представлении. Используя математический аппарат алгебраической топологии, эти алгоритмы могут идентифицировать и извлекать топологические особенности, такие как петли, отверстия и связанные компоненты, которые обеспечивают более глубокое понимание формы и структуры данных.

Один из наиболее эффективных алгоритмов этой группы – Mapper [5]. Он работает по принципу создания отфильтрованной версии набора данных, в которой точки данных группируются в перекрывающиеся бины в соответствии с функцией фильтрации, которая выбирается исходя из особенностей данных, которые необходимо выделить. В качестве функции фильтрации может использоваться один из алгоритмов понижения размерности. Затем внутри каждого бина выполняется кластеризация для дальнейшей группировки точек данных. Получается топологический граф, в котором каждая вершина представляет собой кластер точек данных, между вершинами образуются ребра, если они имеют общие точки данных. Этот граф отражает основные топологические особенности данных. С его помощью можно исследовать и анализировать базовую структуру данных, например, на наличие выбросов в обучающих данных, негативно сказывающихся на качестве предсказаний моделей глубокого обучения.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных — кандидатов наук (МК-582.2022.4).

Литература:

1. The Effects of Data Quality on Machine Learning Performance / Budach Lukas. — Текст: электронный // arxiv: [сайт]. — URL: <https://arxiv.org/abs/2207.14529> (дата обращения: 08.06.2023).

2. Зайцев, М.Д. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОВЕДЕНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ОБУЧАЮЩИХ ДАННЫХ / М. Д. Зайцев, Д.А. Копылов, О.В. Хомутская. — Текст: непосредственный // Научно-технический вестник Поволжья. — 2023. — № 5. — С. 125-129.

3. Зайцев, М. Д. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ОБУЧАЮЩИХ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ / М.Д. Зайцев, Д.А. Копылов, О.В. Хомутская. — Текст: непосредственный // Научно-технический вестник Поволжья. — 2023. — № 5. — С. 129-133.

4. Larry, Wasserman Topological Data Analysis/Wasserman Larry. — Текст: электронный // arxiv: [сайт]. — URL: <https://arxiv.org/abs/1609.08227> (дата обращения: 08.06.2023).

Topological Methods for the Analysis of High Dimensional Data Sets and 3D Object Recognition/Singh. — Текст: электронный // [diglib.org](https://diglib.org): [сайт]. — URL: <https://diglib.org/handle/10.2312/SPBG.SPBG07.091-100> (дата обращения: 08.06.2023).

## **Постановка задачи моделирования МЭМС-гироскопа при синтезе системы управления малого летательного аппарата**

Замашкин В.Ю., Тепцов В.А., Бродский А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

На сегодняшний день технологии позволяют проводить математическое моделирование объектов, что дает возможность проследить за характером поведения компонента, прежде чем его использовать в составе сложного устройства. Одним из таких объектов является аппаратура навигации. Ввиду различных внешних и внутренних факторов на устройство оказываются различные воздействия, влияющие на выходные значения. Для проведения предварительного анализа необходимо построить математическую модель.

Часто, ввиду сложности и дороговизны лазерных и квантовых гироскопов, к общим техническим характеристикам заводом-производителем предоставляется и математическая модель данного устройства. С появлением новых технологий, сейчас все больше используются и применяются МЭМС-гироскопы поскольку они относительно недорогие и довольно просты в производстве. Данные гироскопы выпускаются серийно и в больших количествах, но общераспространённая их математическая модель из-за различия в конструкции и характеристиках отсутствует. Соответственно, существует проблема в теоретическом представлении зависимости поведения микро-электромеханических гироскопов от их технических характеристик.

Целью доклада является освещение проблемы математической формализации МЭМС устройств и подходов к их формальному описанию при синтезе систем управления летательных аппаратов. Приводятся результаты анализа существующих общих математических моделей и эмпирического моделирования на основании имеющихся гироскопов и их технических характеристик.

Исследование базируется на анализе научных-технических статей, официальных технических характеристиках от производителя, а также конструктивных особенностей МЭМС-гироскопов. Верификация результатов проведена в рамках эксперимента с использованием доступных МЭМС доступного стоимостного класса.

На доклад выносятся анализ результатов исследований на математической модели и натурной модели МЭМС-гироскопа.

## **Об оценке потенциальной точности параметров падения баллистических тел по угловым наблюдениям**

Захарова А.И., Горицкий Ю.А.

НИУ МЭИ, г. Москва, Россия

Обсуждается задача оценивания по угловым измерениям параметров баллистического движения тела, движущегося со скоростью ниже первой космической. Определение параметров падения с приемлемой точностью при отсутствии измерения дальности является актуальной задачей для разработчиков измерительных систем. Если выделить орбиты, место падения которых находится в достаточно малой окрестности наблюдателя (в пределах одного-двух километров), то за промежуток времени одной-двух минут до падения существует возможность получить практически интересные точности для большинства орбит. Ограничимся анализом наименее благоприятных орбит: это те орбиты, для которых азимут практически не изменяется, изменяется только угол места.

В работе [1] подробно обсуждается семейство таких орбит и обосновывается переход от трехмерной модели к двумерной с ничтожно малой ошибкой измерения угла места. Предполагается, что перепад высот орбит значительно меньше радиуса Земли, и потому ускорение свободного падения и угловая скорость движущегося тела (ДТ) принимаются постоянными. В работе [2] с учетом приведенных предположений построена модель движения-измерения для анализа точности (анализ проводится на ней).

В силу малой информации о параметре смещения на первоначальном, достаточно длительном участке наблюдения анализ точности оказывается различным на разных участках. Рассчитаны границы для точностей параметров орбит с использованием информации Фишера и многомерного неравенства Рао-Крамера. Исследуется зависимость

нижних границ параметров падения от выбора времени, оставшегося до падения; а также от количества измерений на последнем участке.

Результаты расчетов приведены в виде таблиц значений нижних границ для стандартных ошибок и в виде графиков.

Литература:

1. Горичкий Ю.А., Тигетов Д.Г., Ануфриев А.М. Двумерная модель для оценки эффективности угловых измерений по эллиптическим орбитам // Известия РАН. Серия «Теория и системы управления». 2021. №2. С.14-24

2. Горичкий Ю.А., Захарова А.И. Оценка потенциальной точности некоторых параметров орбит по угловым измерениям: двумерная модель // Вестник МЭИ. 2022. №5. С.133-144.

### **Методика расчета балочного микро-опто-электромеханического преобразователя линейного ускорения на основе оптического туннельного эффекта**

Зо Л.Х., Бусурин В.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Для микро-опто-электромеханического (МОЭМ) преобразователя линейного ускорения на основе оптического туннельного эффекта (ОТЭ) [1] с балочным чувствительным элементом (ЧЭ) предлагается методика расчета параметров. На первом этапе проводится анализ исходных данных, которыми могут быть: диапазон измерения линейных ускорений, температурные условия эксплуатации преобразователя, погрешность нелинейности функции преобразования.

На втором этапе выбираются параметры оптического модулятора на основе ОТЭ: длина волны источника излучения (ИИ), угол падения излучения, материал призмы полного внутреннего отражения (ППВО), среда, заполняющая пространство между ЧЭ и ППВО, поглощающее покрытие ЧЭ, чувствительность фотоприемника (ФП). Длина волны  $\lambda$  ИИ выбирается таким образом, чтобы обеспечить детектирование положения ЧЭ в максимальном диапазоне перемещений под действием линейного ускорения. ФП выбирается по его спектральной чувствительности для выбранной длины волны ИИ и температурному диапазону работы. Угол падения  $\theta$  излучения рассчитывается с учетом выбранных материалов ППВО, среды, заполняющей пространство между ЧЭ и ППВО, поглощающего покрытия ЧЭ, а также условия ПВО. После этого проводится моделирование чувствительности оптического модулятора с варьированием угла падения и определяется угол падения излучения, при котором оптический модулятор обладает наибольшей чувствительностью. Чувствительность  $S$  оптического модулятора определяется произвольной отражательной способности  $R$  по переменному зазору  $d$  между ППВО и поглощающим покрытием ЧЭ. Диапазон изменения чувствительности  $S$  выбирается по значению параметра  $m$  – коэффициента допустимого уменьшения чувствительности, который определяется максимально допустимой погрешностью нелинейности. Выбор параметра  $m$  определяет минимальный зазор  $d_{\min}$ , максимальный зазор  $d_{\max}$  и диапазон рабочих зазоров оптического модулятора на зависимости отражательной способности  $R$  от зазора  $d$ . При определении погрешности нелинейности прямая линия, аппроксимирующая кривую функции преобразования, может быть проведена с учетом значений наклона  $a(m)$  и смещения  $b(m)$  линии, полученных методом наименьших квадратов. Начальный зазор  $d_0$  между ППВО и поглощающим покрытием ЧЭ соответствует середине диапазона рабочих зазоров, что обеспечивает заданную линейность функции преобразования.

На третьем этапе выбирается тип ЧЭ и рассчитываются его геометрические параметры. При действии линейного ускорения ЧЭ должен отклоняться в пределах расчетного диапазона изменений рабочего зазора  $\pm \Delta d$ . По значению диапазона изменений рабочего зазора и заданному диапазону измерения ускорений выбирается тип балочного ЧЭ МОЭМ-преобразователя линейного ускорения и рассчитываются его геометрические параметры: длина  $L$ , толщина  $w$ , ширина  $h$ .

На основе предложенной методики выполнен расчет балочного МОЭМ- преобразователя линейного ускорения. Для следующих значений исходных параметров: диапазон измерения линейных ускорений  $\pm 10 g$ ; температурные условия эксплуатации от  $-40^\circ C$  до  $+80^\circ C$ ;

погрешность нелинейности 0,7% получены следующие значения параметров МОЭМ-преобразователя линейного ускорения и балочным ЧЭ:  $\lambda=1,55$  мкм;  $\theta=45^\circ$ ;  $m=1,2$ ;  $d_0=0,34$  мкм,  $L=10,1$  мм;  $w=4,0$  мм;  $h=0,85$  мм.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00954, <https://rscf.ru/project/23-29-00954/>.

Литература:

1. Busurin V.I., Korobkov K.A., Shleenkin L.A., Makarenkova N.A. Compensation Linear Acceleration Converter Based on Optical Tunneling. 2020 27th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS), 25 – 27 May 2020, Saint Petersburg, Russia. Pp. 1–4.

### **Некоторые аспекты использования голосовых коммуникаций при наземном обслуживании воздушных судов**

Ильченко А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время в большинстве регионов Российской Федерации наблюдается дефицит частотного ресурса во многих диапазонах. Это касается в первую очередь ресурсов оперативных служб транспорта – авиационного, железнодорожного, автомобильного транспорта. В 2013 году Государственная комиссия по радиочастотам (ГКРЧ) поручила объединению операторов связи — союзу LTE — совместно с ФГУП «Научно-исследовательский институт радио» (НИИР) провести исследования в «голосовых» диапазонах частот 900 МГц и 1800 МГц для принятия решения о введении технической нейтральности. Такой документ был принят, однако он касается сетей LTE [1].

Важнейшая радиослужба для обеспечения безопасности полетов -подвижная служба [2], однако в настоящее время испытывается дефицит частот.

В состав средств коммуникаций в аэропорту для решения задач по наземному обслуживанию воздушных судов входят:

- система внутрипортовой радиосвязи, обычно VHF или UHF диапазона;
- система управления ресурсами аэропорта (аэропортовая база данных);
- система телефонной связи;
- система мобильной связи.

Совмещая использование телефонии, узкополосных цифровых видов радиосвязи и коммуникаторов возможно достичь приемлемого (>97%) качества (доступности каналов).

Для назначения задания используется система управления ресурсами (серверная инфраструктура, сеть передачи данных LTE, мобильные устройства (терминалы сбора данных на платформе Android), система внутрипортовой радиосвязи (например, с использованием транкинговой сети радиосвязи TETRA или DMR), IP телефонная связь в случае недоступности мобильной, мобильная связь и для передачи документов и фотографий – корпоративный мессенджер. При этом система внутрипортовой радиосвязи считается наиболее надежным каналом связи, так как полностью принадлежит эксплуатанту аэропорта, однако без использования других каналов связи неэффективна, поэтому может быть совмещена в мультирежимных устройствах PoC (PTT over Cellular).

Таким образом, комбинация различных систем связи для коммуникаций персонала позволит обеспечить как безопасность полетов, так и выполнение всех операций качественно, без задержек рейсов и с соблюдением требований авиационной и транспортной безопасности.

Литература:

1. Решение Государственной комиссии по радиочастотам при Минкомсвязи России от 11 декабря 2013 г. N 13-22-01 «Об установлении условий использования полос радиочастот радиоэлектронными средствами сухопутной подвижной радиослужбы гражданского назначения при оказании услуг связи в населенных пунктах Российской Федерации» [Электронный ресурс] <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70443888/>.

2. Постановление Правительства РФ от 18 сентября 2019 г. N 1203-47 "Об утверждении Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и

признании утратившими силу некоторых постановлений Правительства Российской Федерации" (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс] <https://base.garant.ru/72767122/>.

### **Магнитометрические датчики для систем ориентации и навигации беспилотных летательных аппаратов**

Каликанов А.В., Погорелов М.Г., Лихошерст В.В., Соколов М.В.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Магнитометрические датчики, определяющие интенсивности одной или нескольких составляющих магнитного поля Земли, находят самое широкое применение в системах ориентации и навигации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Наибольшее распространение они получили в электронных компасах и системах навигации, так как лишены недостатков свойственных акселерометрам, гироскопам и приемникам спутниковой навигационных систем (GPS). Электронный компас обычно состоит из двух-трех магнитных датчиков, с помощью которых измеряются составляющие геомагнитного поля Земли, для вычисления ориентации компаса относительно локальной горизонтальной плоскости [1-3]. Построение магнитной навигации требует не только привлечение информации с магнитометрических датчиков, но и привлечение внешней информации – карт магнитного поля [4,5]. Таким образом, для реализации систем ориентации и навигации БПЛА на базе магнитометрических датчиков, удовлетворяющей заданным требованиям по точности, массогабаритам и т.д., необходимо обеспечить четыре важные составляющие – актуальные магнитные карты, датчики с хорошей чувствительностью (не менее 0,1 нТл;), точные алгоритмы вычисления и калибровка.

Работа посвящена анализу существующих датчиков магнитного поля, классифицирующихся в соответствии с физическими явлениями, лежащими в основе их работы для построения систем ориентации и навигации БПЛА. На основании проведенного исследования выделены наиболее важные параметры, которым должны соответствовать датчики. Рассмотрены существующие алгоритмы калибровки магнитометрических датчиков и сформированы основные требования для повышения ее точности.

Работа выполнена при поддержке гранта правительства Тульской области в сфере науки и техники, №ДС/112/ЛИДПИ/23/ТО от 27.09.23.

Литература:

1. Баранчиков М.Л. Микромагнитозлектроника. Т. 1. – М: ДМК Пресс, 2001. – 544 с. ил. (Серия «Учебник»). Электронная версия 373 с.
2. Каликанов, А. В. Применение магнитометрических датчиков в информационно-измерительных системах ориентации / А. В. Каликанов // Новые направления развития приборостроения: материалы 16-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, Минск, 19-21 апреля 2023 г. / Белорусский национальный технический университет; редкол.: О. К. Гусев (пред. редкол.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2023. – С. 21-22.
3. Погорелов М.Г. Информационно-измерительные системы магнитометрического типа для стационарных и подвижных объектов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.11.16 / Погорелов Максим Георгиевич; [Место защиты: Тул. гос. ун-т]. - Тула, 2009. - 165 с.: ил.
4. Хрущев, Д. В. Датчики магнитного поля для систем навигации и ориентации / Д. В. Хрущев, В. В. Ларечнев // Форум молодых исследователей: сборник статей III Международной научно-практической конференции, Пенза, 12 мая 2022 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2022. – С. 81-85.
5. Хрущев, Д. В. Навигация по магнитному полю как альтернатива GPS / Д. В. Хрущев, И. М. Голев // Техника и безопасность объектов уголовно-исполнительной системы: сборник материалов Международной научно-практической конференции, Воронеж, 18–19 мая 2022 года. Том 1. – Иваново: ИПК "ПресСто"; Воронежский институт ФСИН России, 2022. – С. 403-404.

## **Проектирование гироскопического стабилизатора на базе волнового твердотельного гироскопа**

Каликанов А.В., Погорелов М.Г., Лихошерст В.В.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Гироскопические стабилизаторы (ГС) представляют собой электромеханическую систему, состоящую из подвижной платформы, двигателя, измерительных устройств, вычислительного блока, а также самой полезной нагрузки [1-3]. В большинстве ГС в качестве измерительных устройств применяются гироскопы в сочетании с акселерометрами, магнитометрами, оптическими устройствами и т.д [1]. Проектирование ГС осуществляется на основании требований технического задания, определяющего точность стабилизации и показатели качества (динамические: время переходного процесса, перерегулирование; частотные: полоса пропускания, запасы устойчивости по амплитуде и фазе) [4,5].

В работе рассмотрены типы ГС. Более конкретно изложен принцип построения и работы индикаторного стабилизатора. Проанализирована возможность построения индикаторного стабилизатора на базе волнового твердотельного гироскопа (ВТГ). Исследована динамика одного канала ГС. Показано, что обеспечение требуемых показателей можно обеспечить введение в состав ГС регулятора, для цифровой системы это возможно осуществить реализацией программного закона управления в вычислительном блоке. Приведена методика расчёт регулятора методом модального синтеза для обеспечения динамических показателей качества.

Работа выполнена при поддержке гранта правительства Тульской области в сфере науки и техники, №ДС/117/ЛИДПИ/23/ТО от 27.09.23.

Литература:

1. Распопов. В.Я. Теория гироскопических систем гиросtabilизаторы. – Изд-во ТулГУ, 2016.- 388 с.

2. Матвеев В.В., Распопов В.Я. Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации на МЭМС-датчиках: Тула: Изд-во ..., 2017, - 225 с.

3. Малютин, Д.М., Малютин, М.Д. Филин, И.В. Индикаторный гиросtabilизатор на микромеханических гироскопах//Справочник. Инженерный журнал. Приложение. - М.: Машиностроение, 2011.- С.44-53.

4. Погорелов, М. Г. Модальный синтез гиросtabilизатора полезной нагрузки / М. Г. Погорелов, Е. И. Понитков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – № 8. – С. 197-210.

5. Идентификация параметров системы сопровождения на базе индикаторного гиросtabilизатора с МЭМС-гироскопом в контуре стабилизации / Е. Ю. Кисловский, Д. Н. Мильченко, В. В. Матвеев [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – № 8. – С. 165-172.

## **Математический комплекс для исследования волнового твердотельного гироскопа с низкодобротным объемным резонатором**

Каликанов А.В., Лихошерст В.В., Погорелов М.Г.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Последние успехи отечественной науки в области инерциальных датчиков связаны с созданием ВТГ с объемным резонатором [1-4]. По оценке специалистов, на сегодняшний день они являются наиболее перспективными по совокупности характеристик – точности параметров, размеру конструкции, себестоимости производства для построения систем ориентации. Как утверждают многие авторы, ВТГ теоретически могут обеспечить более высокие по сравнению с микромеханическими датчиками, а также классическими механическими гироскопами, точностные характеристики и, в зависимости от способа возбуждения колебаний и управления ими, могут являться как датчиками угла, так и датчиками угловой скорости [3,4]. Все это свидетельствует о необходимости создания математического комплекса для исследования волнового твердотельного гироскопа, позволяющего на этапе проектирования ВТГ определить оптимальные параметры,

зависящие не только от конструктивных особенностей, но и от разработанного блока электроники [5].

Работа посвящена разработке математического комплекса, позволяющего на этапе проектирования волнового твердотельного гироскопа (ВТГ) определить такие параметры как: время выхода на режим, время функционирования, а также анализировать точность вычисления углового положения. Работоспособность программно-математического комплекса подтверждена сопоставлением результатов моделирования с экспериментальными результатами, демонстрирующими высокую степень сходимости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (FEWG-2022-0002).

Литература:

1. Распопов В. Я. Волновые твердотельные гироскопы российской разработки для бортовых систем летательных аппаратов / В. Я. Распопов, В. В. Лихошерст, А. В. Каликанов // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2021. – № 4. – С. 148-153.

2. Журавлев В. Ф., Переляев С. Е., Бодунов Б. П., Бодунов С. Б. Миниатюрный волновой твердотельный гироскоп нового поколения для бескарданных инерциальных навигационных систем беспилотных летательных аппаратов // XXVI Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам: Сборник материалов, Санкт-Петербург, 27–29 мая 2019 года. – Санкт-Петербург: "Концерн "Центральный научно-исследовательский институт "Электронприбор", 2019. – С. 241-245.

3. Распопов В. Я. Датчик угловых скоростей на базе волнового твердотельного гироскопа с металлическим резонатором для систем ориентации, стабилизации и навигации / В. Я. Распопов, В. В. Лихошерст // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2021. – Т. 22, № 7. – С. 374-382.

4. Лихошерст, В. В. Датчик угла крена на базе волнового твердотельного гироскопа / В. В. Лихошерст, А. В. Каликанов, Д. С. Стрельцов // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2023. – № 2(127). – С. 71-75. – DOI 10.53816/20753608\_2023\_2\_71.

5. Wu, X.; Xi, X.; Wu, Y.; Xiao, D. Cylindrical Vibratory Gyroscope; Springer Tracts in Mechanical Engineering (STME); Springer: Berlin /Heidelberg, Germany, 2021, 202 p.,

### **Прогнозирование нагрузки запросов на обслуживание сервиса**

Карпухина А.В., Магомедов М.А., Цыркв Г.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Прогнозирование нагрузки запросов на обслуживание сервиса – это процесс предсказания объема трафика или количества запросов, которые будут поступать к сервису в определенный период времени. Это важная задача для предприятий, особенно для тех, где нагрузка на сервис меняется со временем или имеет пиковые нагрузки.

Предсказание нагрузки запросов на обслуживание сервиса имеет несколько преимуществ для предприятий, таких как: планирование ресурсов, оптимизация инфраструктуры или управление качеством обслуживания.

Так, зная количество запросов, которые ожидаются в будущем, предприятие может определить, сколько ресурсов, таких как вычислительная мощность, пропускная способность сети или хранилище данных, потребуется для обработки запросов и обеспечения хорошего качества обслуживания.

Прогнозирование нагрузки позволяет предприятию понять, когда ожидается наибольшая нагрузка и насколько необходимо масштабировать свою инфраструктуру в зависимости от этого. Это позволяет предприятию снизить издержки, связанные с избыточными ресурсами в периоды низкой активности и избежать недостатка ресурсов в периоды пиковой активности.

Также прогнозирование позволяет избежать задержек или отказов в обслуживании, что может негативно повлиять на репутацию предприятия.

Целью данной работы является прогнозирование будущей загрузки сервиса на целую неделю с использованием построенной модели.

В ходе работы:

1. Построены графики, отражающие нагрузку на день, неделю и месяц.

2. Спрогнозированы временные ряды, отражающие циклическую тенденцию одновременного присутствия пользователей на сервисе или обращение к нему, в зависимости от дня недели и времени суток.

3. Построена модель LSTM с использованием фреймворка Keras для прогнозирования временных рядов.

4. Протестирована построенная ранее модель, используя тестовый набор данных.

5. Спрогнозированы будущие сервисные нагрузки на целую неделю, с помощью построенной модели.

Таким образом, прогнозирование нагрузки запросов на обслуживание сервиса является неотъемлемой частью стратегического планирования и управления предприятием, позволяя эффективно использовать ресурсы и обеспечивать высокое качество обслуживания для пользователей.

Литература:

1. ИТ-мониторинг: технологии, сферы применения, перспективы развития рынка, комментарии отечественных системных интеграторов. [Electronic resource] URL: <https://spbit.ru/analytics/it-monitoring-tehnologii-sfery-primeneniya-perspektivy-razvitiya-rynka-kommentarii-otechestvennyh-sistemnyh-integratorov-326> (access date: 2022)

2. Разработка надежных высоконагруженных систем. [Electronic resource] URL: <https://smira-webinar.highload.ru/> (access date: 2021)

### **Моделирование тракта передачи данных в специализированной вычислительной системе на базе операционной системы Linux**

<sup>1</sup>Касаткин А.С., <sup>1</sup>Звонарёва Г.А., <sup>2</sup>Горючкин В.А.

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>ПАО «МАК «Вымпел», г. Москва, Россия

На сегодняшний день распределённые вычислительные системы (РВС), активно использующие протоколы TCP/IP для передачи данных, нашли широкое применение для решения специализированного класса задач. Особенности данного типа РВС обусловлены пространственным распределением независимых вычислительных узлов, их специализацией в зависимости от решаемых задач и разнообразием трактов передачи данных, отличающихся свойствами и параметрами.

Исследуемая РВС относится к рассматриваемому классу вычислительных систем и включает в себя пространственно распределённые устройства для сбора измерительной информации и устройства для её накопления, централизованной обработки, анализа и выработки выходной информации. Эти устройства взаимодействуют через тракты, характеризующиеся различными параметрами, такими как задержка, пропускная способность и надежность передачи данных.

Рассматриваемая РВС использует стек протоколов TCP/IP для передачи данных.

В связи с тем, что тракты передачи данных исследуемой системы обладают динамическими характеристиками, которые под воздействием внутренних и внешних факторов могут существенно ухудшаться, это приводит к потенциальному риску нарушения работы РВС в целом. Поэтому важной задачей становится оценка влияния деградации характеристик, которые могут происходить в тракте передачи данных, на временные характеристики системы, её надежность, способность выполнять задачи по предназначению.

В условиях недоступности, пространственной распределённости устройств системы, а также низкой вероятности возникновения сбоев и нестандартных ситуаций в реальной системе, возникла необходимость моделирования передачи данных в лабораторных условиях на высокоскоростных сетях путём внесения нормированных искажений в проходящий трафик, то есть задавать конкретные значения задержки пакетов, потерь пакетов, повреждения пакетов и пропускной способности.

Для моделирования в ОС Linux для протоколов TCP и UDP была разработана модель тракта передачи данных, которая позволяет с учетом параметров рабочей нагрузки оценить время передачи данных, пропускную способность, задержки и исследовать функционирование РВС в условиях искажения информации.

Моделирование тракта передачи данных осуществляется на разных уровнях стека протоколов TCP/IP.

В докладе представлена методология построения модели и результаты исследований. Подробно рассмотрены возможности моделирования на канальном уровне, используя инструмент Netem, предназначенный для эмуляции сетевых характеристик и внесения искажений в передачу данных. Проведён сравнительный анализ реализованной модели с существующими методами моделирования.

### **Управляемая моделями разработка систем искусственного интеллекта**

Кейно П.П., Козырев Н.А., Силуянов А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Программный код больших информационных систем состоит из множества библиотек, что чрезвычайно сложно поддерживать. Управляемая моделями разработка (MDE, model-driven engineering) призвана повысить уровень абстракции до высокоуровневых моделей. Принцип MDE может быть применён и в искусственном интеллекте (AI), также используемый для написания кода. Существуют специализированные языки предметно-ориентированного программирования (DSL – Domain-Specific Languages) для области искусственного интеллекта (ИИ). Эти языки предназначены для упрощения и улучшения разработки ИИ-систем, а также для создания моделей и алгоритмов, специализированных на конкретных задачах в рамках определенной предметной области.

DSL для ИИ могут быть разработаны для ряда различных задач, таких как обработка естественного языка (Natural Language Processing, NLP), компьютерное зрение (Computer Vision), машинное обучение (Machine Learning) и другие. Например:

**TensorFlow:** Несмотря на то, что это не язык программирования в классическом смысле, TensorFlow предлагает DSL для машинного обучения и создания нейронных сетей, что облегчает создание и обучение моделей ИИ. Хотя TensorFlow не является строго DSL, его можно рассматривать как среду, которая предоставляет специфичные инструменты и абстракции для работы с моделями машинного обучения. Он имеет гибкий граф вычислений, который может быть настроен для выполнения различных операций и алгоритмов, что позволяет разработчикам создавать модели, оптимизированные под конкретные задачи.

**Prolog:** Язык программирования, используемый для логического программирования. Он часто применяется в системах искусственного интеллекта для создания экспертных систем и обработки знаний.

**Lisp:** Этот функциональный язык программирования имеет богатую историю использования в исследованиях искусственного интеллекта. Он предоставляет множество инструментов для создания различных ИИ-приложений.

**R:** Язык программирования, специализированный для статистического анализа данных и машинного обучения. Он широко используется в области анализа данных и создания моделей ИИ.

DSL обеспечивают уровень абстракции и специализацию, что делает разработку ИИ более эффективной и удобной. Они позволяют разработчикам легко выражать концепции и задачи, специфичные для определенной области ИИ, и упрощают создание и обслуживание систем и моделей искусственного интеллекта. Программирование и обеспечение логики работы систем искусственного интеллекта является основной задачей при работе с подобной дисциплиной. Поскольку эти системы становятся всё более сложными, замедляется и разработка программного обеспечения для них. Именно в таком случае приходят на помощь предметно-ориентированные языки программирования, которые повышают уровень абстракции и позволяют работать непосредственно с предметной областью искусственного интеллекта максимально эффективно. Именно по этой причине предметно-ориентированные языки программирования являются неотъемлемой частью всех известных инструментальных средств, либо самостоятельной единицей, что делает их мощным инструментом программирования искусственного интеллекта.

Литература:

1. Raedler S. et al. Model-Driven Engineering for Artificial Intelligence--A Systematic Literature Review //arXiv preprint arXiv:2307.04599. – 2023

2. Xue Q. Automating Code Generation for MDE using Machine Learning //2023 IEEE/ACM 45th International Conference on Software Engineering: Companion Proceedings (ICSE-Companion). IEEE,2023,pp.221-223

### **Измерительная система наведенных токов в электрических цепях летательных аппаратов**

Кириллов В.Ю., Торлупа А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

При проведении испытаний на помехоустойчивость к воздействию излучаемых электромагнитных помех производится измерение наведенных токов и напряжений в электрических цепях приборов и устройств летательных аппаратов. Наведенные токи, распространяясь по электрическим цепям могут ухудшать работу бортовых приборов и устройств, в случае если их уровень превышает заданные нормативные значения. Снизить уровни наведенных токов в электрических схемах и конструкциях позволяют специально разрабатываемые технические средства, которые во многих случаях позволяют улучшить электромагнитную обстановку на борту летательного аппарата. Для определения актуальности применения технических средств предназначенных для снижения уровней наведенных токов необходимо в процессе испытаний производить измерение их эффективных значений. Наведенные токи наводятся излучаемыми электромагнитными полями, которые создаются специальными имитаторами в соответствии с программой-методикой проведения испытаний. Диапазон излучаемых электромагнитных полей, а следовательно, и наведенных токов, может составлять от сотен мегагерц до десятков гигагерц. Измерение уровней наведенных токов в электрических цепях обычными средствами измерения представляет определенные трудности, так как на высоких частотах возрастают потери, вызванные распространением электромагнитной волны вдоль проводников и излучением электромагнитной энергии в пространство. Для определения эффективных значений наведенных токов применяется специально разработанная измерительная система. Основной принцип работы измерительной системы заключается в преобразовании высокочастотных наведенных кондуктивных токов в низкочастотные сигналы, амплитуда которых зависит от эффективных значений токов. Низкочастотные сигналы преобразуются в цифровой код и передаются в компьютер, на котором специально разработанная программа восстанавливает аналоговую форму низкочастотных сигналов и определяет эффективное значение высокочастотных токов. Относительная ошибка измерения наведенных токов зависит от ширины частотного диапазона и не превышает нескольких процентов.

### **Анализ эффективности использования искусственного интеллекта в сфере научных открытий и решении творческих задач**

<sup>1</sup>Клочкова Е.Н., <sup>2</sup>Аветисян Б.Р.

<sup>1</sup>МосУМВД России имени В.Я. Кикотя, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт образования и науки, г. Москва, Россия

Интеллектуальные системы, построенные на основе машинного обучения, позволяют в автоматическом режиме сегментировать и обрабатывать ненормализованные данные. Решение конкретных дата-сетов предлагает программа, основывающаяся на «обучаемых данных»: чем больше указанный массив, тем точнее вероятность корректного решения, принимаемого искусственным интеллектом. Но безрассудное применение данных технологий в научной деятельности может привести к стагнации не только ученого мира, но и, в конечном счете, к деградации широкого пласта населения.

Нейронная сеть по своей сути представляет собой сложное программное обеспечение, предназначенное для обработки больших массивов данных.

В последнее время их начали использовать и для создания научных текстов, например для повышения оригинальности текстов. Из здесь возникают следующие нюансы. С одной

стороны, традиционно научный труд имеет определенную структуру (актуальность проблемы, предмет и объект исследования, цель и задачи, содержательная часть, список источников) и нейронная сеть может достаточно точно ее воспроизвести.

С другой стороны, при подготовки научных работ с использованием искусственного интеллекта вся работа GPT сводится к дублированию точек зрения ученых и фрагментарному, поабстрактному рассмотрению ключевых слов и тезисов, насыщая материал однотипными по структуре данными, не формируя самостоятельных выводов, зачастую теряя логику обоснования при изложении материала.

При формировании списка литературы, для повышения оригинальности, нейронная сеть может комбинировать существующие источники, смешивая авторов, названия их трудов, наименования издательств и годы издания работ, для нормативных документов результатом становится создание вымышленных НПА.

Еще одна проблема связана с существующими ограничениями памяти GPT чат-ботов, которые могут оказывать существенное влияние на качество ответов, т.к. в этом случае модель вынуждена оперировать меньшим объемом информации при генерировании выходной информации.

Доступность технологий искусственного интеллекта и их применение при решении научных задач в перспективе приведет к значительному снижению качества научных трудов и отсутствию достижений в данной области.

Литература:

1. Указ Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 года № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации»
2. ISO/IEC 25024 от 2015 Системная и программная инженерия Требования к качеству систем и программного обеспечения и их оценка
3. ГОСТ 7.32-2017 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления
4. ГОСТ Р 57700.36-2021 Высокопроизводительные вычислительные системы. Оценка производительности высокопроизводительных вычислительных систем на алгоритмах, использующих сверточные нейронные сети
5. ГОСТ Р 70462.1-2022 Информационные технологии. Интеллект искусственный. Оценка робастности нейронных сетей.

### **Рассмотрение способов автоматического управления боковым движением на заключительном воздушном этапе посадки по категории ШБ**

Колбасов В.Н.

ПАО «МИЭА», г. Москва, Россия

В настоящее время в связи с активным развитием радиотехнических средств, с улучшением технологий их производства повышается эффективность их использования. Установка подобных средств или модернизация имеющихся расширяет возможности аэропортов, а в частности позволяет обеспечивать посадку в автоматическом режиме по 3 категории.

В связи с этим, встаёт вопрос о модернизации систем автоматического управления самолётов для обеспечения посадки по третьей категории. Помимо этого, активное развитие авиаперевозок начинает предъявлять всё более строгие требования к качеству посадки. Подобные требования обусловлены не только конструктивными характеристиками каждого конкретного самолёта, но и обеспечением комфорта и безопасности пассажиров.

Данная работа направлена на рассмотрение способов управления боковым движением на заключительном, маловысотном воздушном участке посадки.

Основной задачей управления в боковом канале на заключительных этапах посадки является выдерживать курс взлётно-посадочной полосы, не допускать бокового отклонения от середины ВПП, либо его минимизировать. Всё это предназначено для того, чтоб не допустить выкатывание самолёта за пределы полосы. Так же, в случае наличия боковых возмущений, таких как боковой ветер, отказ двигателя, рекомендуется убрать угол сноса и

довернуть нос самолёта к полосе. Это делается с целью уменьшить боковой удар на стойки шасси.

В работе рассматривались несколько концепций, основанных на характере управления на заключительном воздушном этапе посадки. В качестве одного из вариантов рассматривалась идея контроля угла сноса, начиная ещё на этапе стабилизации глиссады, совместно с этапом стабилизации курсовой зоны в боковом канале. Альтернативно рассматривался вариант, в котором в боковом канале отсутствует вмешательство в алгоритм стабилизации курсовой зоны, и данная функция перекладывается на этап доворота, призванный на малой высоте, непосредственно перед касанием, с помощью активного управления рулём направления минимизировать угол сноса. В работе было проведено математическое моделирование работы предложенных вариантов и проведён сравнительный анализ результатов.

### **Разработка метода оценки надежности печатных плат на основе анализа их конструктивно-технологических параметров**

Коробков М.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Разработка метода оценки надежности печатных плат на основе анализа их конструктивно-технологических параметров

Современные производственные системы позволяют выпускать печатные платы (ПП) в больших объемах, которые будут отвечать самым строгим требованиям к их надежности. Однако существует и ряд компаний (например, дизайн-центры электроники), для которых изготовление ПП не является основным видом деятельности. В таком случае использование собственной производственной линии может оказаться предпочтительнее, поскольку можно быстрее и дешевле изготавливать опытные образцы. Для таких компаний характерно наличие оборудования, не обладающего высокоточными характеристиками, но означает ли это, что высокоточные и высоконадежные платы недоступны для производства на нем?

Существующие методы оценки надежности не позволяют корректно ответить на поставленный вопрос. Вероятностно-статистический метод для определения надежности ПП (интенсивности отказов) не учитывает параметров технологического процесса ее изготовления, а из параметров конструирования использует только количество слоев и переходных отверстий. Физико-химический метод (физика отказов), в свою очередь, позволяет определить новые зависимости между параметрами проектирования и надежностью в отдельных аспектах, но определение на их основе совокупной надежности затруднительно в силу сложности описания процессов отказов и большого количества параметров, определяющих их протекание.

В исследовании разработан подход к оценке надежности, суть которого заключается в формировании аналитической модели для расчета вероятности изготовления ПП, соответствующей действующим стандартам на проектирование и приемку. В этом случае стандарты определяют конкретные количественные критерии для определения годности ПП. Однако в зависимости от сложности конструкции и технологического процесса, представленных в стандартах параметров может быть недостаточно для оценки возможности надежного производства ПП [1]. Модель предполагает определение связей между заданными правилами проектирования электронного устройства, характеристиками производственного процесса и требованиями существующих стандартов с целью расчета вероятности выпуска бездефектной продукции. Таким образом, полученная вероятность является количественной величиной, косвенно отражающей надежность изделия и зависящей от стандартов приемки, правил проектирования ПП и параметров технологического процесса ее изготовления [2].

В дальнейшем полученная аналитическая модель может быть востребована в качестве критерия для количественной оценки качества ПП, а ее использование в процессе разработки позволит определить необходимые конструктивные параметры ПП в зависимости от параметров ее изготовления.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 23-29-10204.

Литература:

1. Korobkov, M.A., Vasilyev, F.V., Khomutskaya, O.V. Analytical Model for Evaluating the Reliability of Vias and Plated Through-Hole Pads on PCBs, *Inventions*, 2023, 8(3), 77, p. 1–21.

2. Исаев В.В., Коробков М.А. Влияние параметров проектирования и технологических процессов на вероятность появления дефектов на печатных платах, тезисы 19-й Международной конференции «Авиация и космонавтика», М: Перо, 2020, с. 265–267.

### **Применение генетического алгоритма искусственного интеллекта для управления эксплуатацией сложных технических систем**

Кос О.И., Смирнов В.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

В эпоху всеобщей цифровизации применение алгоритмов искусственного интеллекта становится все более популярным. Наиболее успешно генетические алгоритмы искусственного интеллекта применяются для решения сложных нелинейных многомерных задач оптимизации, в том числе задач управления эксплуатацией сложных технических систем (СТС).

Рассмотрим СТС, состоящее из большого числа разных элементов. В данной работе задача оптимизации эксплуатации СТС за счет эффективной замены ее элементов решается с помощью генетического алгоритма искусственного интеллекта [1].

Замена элементов СТС осуществляется через оптимальные интервалы замен (ремонтов), которые рассчитаны в соответствии с методикой, изложенной в статьях [2, 3].

Множеством решений данной задачи является оптимальная, т.е. эффективная с точки зрения эксплуатации, совокупность оптимальных времен замен (ремонтов) элементов СТС. Ограничением при решении данной задачи оптимизации является требование на совокупность оптимальных интервалов, заключающееся в том, что эти интервалы могут быть уменьшены до ближайшего интервала, но не могут быть увеличены, так как в этом случае не будет обеспечена надежность СТС.

Критерий оптимальности решения задачи выражен целевой функцией, значения которой используют для сравнения решений. В данной задаче целевой функцией является сумма следующих затрат в процессе эксплуатации СТС:

- стоимость замен (ремонтов) элементов СТС;
- затраты на выезд специалистов для ремонта (замены) элементов;
- стоимость времени работы элементов, которые были заменены раньше времени своей оптимальной замены.

В данной задаче под оптимальным решением будем понимать оптимальный набор времен замен (ремонтов) элементов для всей СТС в целом, который доставляет минимум целевой функции и удовлетворяет заданному ограничению на совокупность оптимальных интервалов.

Для того чтобы с помощью генетического алгоритма искусственного интеллекта сократить количество замен и ремонтов элементов СТС, то есть обеспечить минимизацию экономических затрат на ее эксплуатацию при условии обеспечения заданного уровня надежности, были применены модернизированные операторы генетического алгоритма: гибридная селекция; гибридный кроссингвер; гибридный метод мутации, т.е. случайное изменение набора интервалов для того, чтобы заново начать поиск наилучшего решения.

Разработанное программное обеспечение для решения задач оптимизации на основе генетического алгоритма искусственного интеллекта было применено для оптимизации замен или ремонтов элементов СТС, эксплуатируемых в настоящее время.

Литература:

1. Кос О. И., Смирнов В. Ю. Применение генетического алгоритма в задаче оптимизации замены элементов системы // *Известия РАН. Теория и системы управления*, М.: Российская академия наук, 2022, № 5, стр. 76–89.

2. Кос О. И. Рекуррентный алгоритм расчета и прогнозирования вероятности безотказной работы искусственных сооружений. Транспортное строительство. — М.: ООО "Трансстройиздат", 2014. — с. 30–32.

3. Кос О. И., Смирнов В. Ю. Математическая модель управления техническим состоянием элементов сложных технических систем на основе закона распределения функции отказов элементов. //Известия РАН. Теория и системы управления, М.: Российская академия наук, 2022, № 6, стр. 3-10.

### **Влияние расположения проводников и диэлектриков на защитные характеристики устройства защиты цепей питания бортовой радиоэлектронной аппаратуры**

Костелецкий В.П., Нестеренко А.К.

ТУСУР, г. Томск, Россия

Проектирование элементов космического аппарата (КА), в частности бортовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), подразумевает использование материалов с низкой степенью деградации. Это связано с тем, что характеристики РЭА, выведенной на орбиту земли, должны изменяться лишь в прогнозируемом диапазоне все время эксплуатации КА. При этом РЭА КА должна обладать высокой надежностью, стойкостью к вибрациям, перепадам температур и радиации [1]. В рамках современных тенденций развития генераторов сверхширокополосных преднамеренных воздействий, также необходимо защищать уязвимые элементы РЭА КА от сверхкоротких импульсов (СКИ) [2]. В цепях электропитания КА, а также по интерфейсным проводникам распространяются помехи, амплитуда которых описывается комбинацией составляющих синфазного и дифференциального вида, поэтому обеспечение защиты РЭА от помех должно осуществляться в дифференциальном и синфазном режимах [3]. Для этой цели разработано устройство защиты на основе полосковых линий передачи, конфигурация которого позволяет ему работать в дифференциальном и синфазном режимах, при этом оно обладает высокой радиационной стойкостью, большим сроком эксплуатации и невысокой стоимостью при высоких технических характеристиках. Между тем необходимо исследовать влияние расположения проводников и диэлектриков на его защитные характеристики. Для вычисления матриц электромагнитной  $L$  и электростатической  $C$  индукций использовано ПО TALGAT, на основе полученных матриц в ПО ADS вычислены временные отклики и частотные зависимости S21. Выполнен анализ заполнения свободного объема защитного устройства воздухом и радиопоглощающим материалом (РПМ). В качестве тестового воздействия на вход защитного устройства подается СКИ амплитудой э.д.с. 1 В, с временем нарастания, плоской вершины и спада фронта равными по 100 пс. Из полученных результатов моделирования видно, что при заполнении воздухом свободного пространства внутри защитного устройства максимальное значение напряжения на его выходе (Увых) в синфазном режиме составило 95 мВ для внешнего расположения проводников и 111 мВ – для внутреннего. В дифференциальном режиме Увых – 99 и 101 мВ, соответственно. При заполнении РПМ свободного пространства внутри защитного устройства Увых в синфазном режиме составило 113 мВ для внешнего расположения проводников и 148 мВ – для внутреннего, а в дифференциальном 118 и 145 мВ, соответственно.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-01216, <https://rscf.ru/project/23-79-01216/>.

[1]. Воздействие высокоэнергетичных космических протонов и ионов на элементы бортовой аппаратуры космических аппаратов / Н.Г. Чеченин, А.Г. Кадменский, Х.А. Мотавех, М.И. Панасюк // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2012. – № 4. – С. 17.

[2]. Mora, N. Study and classification of potential IEMI sources / N. Mora, F. Vega, G. Lugin, F. Rachidi, M. Rubinstein // System and assessment notes. – № 41. – 8 July 2014. – 92 p.

[3]. Кечиев Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры / Л.Н. Кечиев. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 616 с.

## **Оптимизация алгоритмов Elasticsearch и Lucene для эффективного поиска**

Курсанбек уулу Кушгарбек

МАИ, г. Москва, Россия

Наш доклад начнется с изучения фундаментальных принципов оптимизации алгоритмов поиска и подчеркнет значимость настройки Elasticsearch и Lucene для достижения высокой производительности поисковой системы. Мы рассмотрим, как тщательная оптимизация алгоритмов может улучшить скорость и эффективность вашей поисковой инфраструктуры.

Затем мы погрузимся в разнообразные алгоритмы и методы оптимизации, которые могут быть применены к Elasticsearch и Lucene. Это включает в себя темы, такие как индексация, анализ запросов, кэширование и релевантность результатов поиска.

В докладе мы обсудим процесс создания и управления настройками Elasticsearch и Lucene, которые влияют на производительность поиска. Мы предоставим рекомендации по оптимальному использованию алгоритмов в различных сценариях, чтобы помочь вам сделать обоснованный выбор.

Далее мы проведем анализ преимуществ использования оптимизированных алгоритмов поиска. Мы рассмотрим ситуации, где оптимизированные алгоритмы значительно ускоряют поиск, фильтрацию и агрегацию данных. Также мы обсудим оптимизацию процессов совместной работы Elasticsearch и Lucene для достижения выдающейся производительности.

Однако важно понимать, что оптимизация алгоритмов поиска также имеет свои ограничения и проблемы. В рамках доклада мы кратко остановимся на этих аспектах, чтобы помочь вам принимать информированные решения при оптимизации поиска с использованием Elasticsearch и Lucene.

В докладе мы также предоставим практические примеры оптимизации алгоритмов поиска. Мы сравним производительность поисковых запросов до и после применения оптимизаций, чтобы продемонстрировать их эффективность и влияние на общую производительность системы.

И в заключение, мы подведем итоги и предоставим некоторые рекомендации по оптимизации алгоритмов Elasticsearch и Lucene для улучшения производительности поиска. Мы подчеркнем их важность и значимость в достижении максимальных результатов в вашей поисковой инфраструктуре.

## **Совместная навигация гетерогенной группы роботов**

Лельков К.С., Черноморский А.И.

МАИ, г. Москва, Россия

В последние годы большое внимание уделяется роботизированным системам, состоящим из групп разнотипных роботов – гетерогенных групп роботов (ГГР). Одним из перспективных направлений применения ГГР является автоматизация процедуры технического осмотра наружной поверхности воздушного судна (ВС) на его стоянке с целью выявления дефектов поверхности. Применительно к решению этой задачи, ГГР целесообразно формировать, используя наземный колёсный робот (НКР) и беспилотный летательный аппарат (БЛА), что обеспечивает возможность осуществления мониторинга как нижней, так и верхней частей наружной поверхности ВС.

Ключевая проблема при разработке такой ГГР – обеспечение совместной навигации её компонентов. Все роботы должны функционировать в едином информационном поле и определять параметры навигации в единой системе координат. Одним из вариантов реализации совместной навигации является её реализация с использованием алгоритмов взаимной коррекции локальных навигационных систем роботов. Такая коррекция может осуществляться на основе измерений различных датчиков: оптических, радиочастотных, магнитных и др.

С целью построения алгоритма взаимной коррекции локальных навигационных систем были разработаны математические модели движения НКР и БЛА с учётом в них влияния факторов, порождаемых неопределёнными внешними возмущениями (проскальзыванием колёс применительно к НКР, случайными ветровыми нагрузками применительно к БЛА). Для сформированных локальных навигационных систем компонентов ГГР были определены

дополнительные каналы взаимной коррекции измерений. Разработаны законы траекторного управления перемещениями НКР и БЛА. Представлены результаты моделирования, подтверждающие возможность обеспечения высокой точности совместной навигации компонентов ГГР.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-29-00958).

### **Оптимизация плана-графика технического обслуживания и ремонта с учетом целевой функции**

<sup>1</sup>Луньков В.И., <sup>2</sup>Ильченко А.В.

<sup>1</sup>АО «Тераплан», <sup>2</sup>МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время существует множество программных комплексов, относящихся к проблемам технического обслуживания и ремонта, например 1С:ТОИР, F5, АСУРЭО, в том числе и внесенных в Единый реестр программного обеспечения. Как показывает практика, указанные программные продукты решают задачи оптимального составления план-графика, как правило, с учетом соблюдения технологических ограничений и минимизации простоев оборудования и с соблюдением требований руководящих документов, например Приказов [1]. Между тем, запрос промышленности на качественные оптимизационные решения велик и представляет большой интерес с точки зрения разработчика.

Программное обеспечение для управления ТОиР (Maintenance Management Systems, MMS) — специализированные программные продукты, которые позволяют планировать техническое обслуживание, ремонт и замену оборудования. MMS позволяет вести базу данных оборудования, планировать и контролировать выполнение работ, а также анализировать и оптимизировать процессы ТОиР.

План-график технического обслуживания и ремонта (ТОиР) – это документ, который определяет сроки и объем работ по техническому обслуживанию, ремонту и замене оборудования. Он составляется на основе данных о состоянии оборудования, его износе, а также с учетом требований нормативных документов и рекомендаций производителей.

Целью данного исследования является применение оптимизационных алгоритмов для планирования ТОиР таким образом, чтобы обеспечить целевую функцию не только соблюдения всех руководящих документов, снижения простоев, экономии средств на ремонты, но и сохранения установленного уровня генерации (на примере энергетических установок).

Допустим, имеется несколько энергетических установок различной мощности, с разной степенью износа, разными сроками проведения различных типов технического обслуживания. В этом случае задача оптимизации, кроме соблюдения сроков проведения технического обслуживания и минимизации простоев включает в себя и соблюдение установленного уровня генерации.

Развитие модели предусматривает три сценария:

- нахождение дат и сроков проведения технического обслуживания установок с целью нахождения оптимального алгоритма;
- ручные корректировки в случае необходимости;
- корректировки дат и сроков проведения технического обслуживания в соответствии с целевой функцией сокращения простоев;
- корректировки дат и сроков проведения технического обслуживания в соответствии с целевой функцией обеспечения установленного уровня генерации.

В случае, когда применение целевой функции будет нести изменение план-графика с переносом дат и сроков проведения технического обслуживания, оптимизационный алгоритм находит оптимальные сроки проведения такого обслуживания, чтобы сохранить установленный уровень выработки (генерации), при этом требования руководящих документов должны быть сохранены.

Литература:

1. Приказ Министерства энергетики РФ от 25 октября 2017 г. N 1013 "Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и

безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок "Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики" (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс] <https://base.garant.ru/71907490/>

### **Анализ производительности алгоритмов поиска строки в тексте**

Магомедов М.А., Карпухина А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В данной работе исследуется производительность алгоритмов поиска строки в различных текстах (произвольных и специально подготовленных). В рамках задачи анализа производительности рассматриваются алгоритмы: Бойера-Мура, Кнутта-Мориса-Пратта, Рабина-Карпа.

Актуальность работы обусловлена большим количеством запросов на поиск строки в лекциях в рамках приложения. Ключевым критерием при выборе алгоритма - является его производительность. Для проведения анализа производительности каждого алгоритма были использованы как произвольные тексты, так и специально подготовленные тексты, чтобы оценить их поведение в различных сценариях. Общее количество операций, количество сравнений символов и время выполнения были учтены при сравнении производительности алгоритмов.

В ходе работы:

Реализована библиотека на языке python, которая сразу включает поиск по трем алгоритмам (kmp, boyer\_moore, rabin\_karp).

Собраны показатели времени выполнения в зависимости от длины паттерна, количества сравнений, длины и содержания исходного текста.

Собраны метрики ops/sec, математическое ожидание времени выполнения поиска, математическое ожидание количества сравнений в тексте.

Определена временная сложность алгоритма в худших случаях и в среднем.

Нарисованы графики зависимостей по полученным показателям при помощи библиотеки matplotlib.

Например, для текста книги Гончарова "Обломов", было подсчитано, что математические ожидания по времени для данных алгоритмов соответствуют значениям – kmp: 0.08418030263249077, boyer\_moore: 0.013370999375979106, rabin\_karp: 0.2724181977540652. Также и для 2000 других произвольных текстов (книг) в среднем результаты были аналогичными. Математическое ожидание алгоритма Бойера-Мура по времени было наименьшим.

В ходе исследования было выяснено, что в произвольных текстах алгоритм Бойера-Мура является самым производительным и в среднем показывает временную сложность  $O(n/m)$ , где  $n$  - длина текста,  $m$  - длина искомого шаблона.

Литература:

1. Алгоритмы. Теория и практическое применение. 2-е издание Стивенс Род
2. <https://docs-python.ru/standart-library/>
3. <https://dl.ebooksworld.ir/books/Introduction.to.Algorithms.4th.Leiserson.Stein.Rivest.Cormen.MIT.Press.9780262046305.EBooksWorld.ir.pdf>

### **Управление космическим аппаратом с солнечным парусом в окрестности точки либрации L2 системы Солнце-Земля**

Макаренкова Н.А., Степаньянц Г.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время для решения ряда исследовательских задач большое внимание уделяется космическим аппаратам, длительное время функционирующим в неустойчивых точках Лагранжа (точках либрации L1 и L2).

Обеспечение устойчивости космического аппарата (КА) в окрестностях неустойчивых точек либрации без расхода рабочего тела (или с минимизацией этого расхода) представляет актуальную задачу, так как её решение позволит увеличить длительность активного функционирования КА и обеспечить экономии рабочего тела двигателей для тех целей,

которые не могут быть достигнуты без его расхода. Для обеспечения устойчивого движения в точке либрации L2, расположенной на линии Солнце-Земля, рассматривается система управления, основанная на использовании давления солнечного света [1]. Данная система должна содержать достаточно большую отражающую поверхность, ориентация которой по направлению к Солнцу и, возможно, величина её площади, позволит создать управляющие воздействия. Назовём такую поверхность солнечным парусом [2].

Так как точки либрации L1 и L2 неустойчивы, то работоспособность системы управления напрямую зависит от величины области притяжения невозмущенного установившегося движения (периодического или покоя). Снабжение КА энергией обеспечивается солнечными батареями, а следовательно, при его работе в окрестности точки L2, находящейся в тени Земли, КА должен находиться на достаточно удалённом расстоянии от точки L2 так, чтобы постоянно находиться вне тени Земли. Возможные варианты решения этой задачи рассмотрены в [1] в качестве примеров при построении законов управления КА, основанных на применении прямого метода Ляпунова.

Если для решения задач исследования необходимо функционирование КА в тени Земли для экранирования солнечного излучения, КА должен периодически выходить из тени Земли для подзарядки солнечных батарей. В работе предлагается использовать давление солнечного света для создания дополнительных управляющих воздействий, позволяющих уменьшить расход рабочего тела, необходимого для создания устойчивого движения с периодическим заходом КА в тень Земли. В тени Земли использование давления солнечного света невозможно, а в области полутени может оказаться недостаточным для обеспечения необходимых размеров области притяжения невозмущенного движения. В этом случае использование рабочего тела для создания управляющих воздействий неизбежно. Предполагается, что такое управление должно минимизировать расход энергии [3]. Исследование проводилось в рамках линейной модели классической ограниченной задачи трёх тел.

Литература:

1. Степаньянц Г. А. Прямой метод Ляпунова в задаче обеспечения устойчивости компактного минимального множества динамической системы и формирование гало-орбиты в окрестности точки Лагранжа L2. – Известия РАН. Теория и системы управления, 2023, № 4, с. 3-16.
2. Поляхова Е. Н. Космический полет с солнечным парусом. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. — 320 с.
3. Степаньянц Г. А. Особенности постановки задачи обеспечения устойчивости движения управляемого объекта в окрестности неустойчивого состояния равновесия. – Известия РАН. Теория и системы управления, 2019, № 3, с. 4-9.

### **Метод построения киберимунной архитектуры на языках IEC 61499**

Максимов А.Н., Александров А.А., Лавриненко С.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Одной из актуальных задач является разработка инструментальных средств для разработки систем управления АСУ ТП и робототехнических решений. Стандартом де-факто для разработки систем управления является использование языков стандарта IEC 61131. Перспективным направлением развития средств разработки являются языки стандарта IEC 61499. Они позволяют строить гибкие распределенные системы управления. IEC 61499 предлагает строить программы в виде графа из связанных функциональных блоков, которые могут обмениваться между собой данными и событиями. Функциональные блоки могут быть расположены на одном или на нескольких вычислительных модулях, связанных между собой сетевыми соединениями. В качестве базы для разработки собственного инструментального средства и проверки архитектурных концепций предлагается рассмотреть проект с открытым исходным кодом 4diac, который включает среду разработки 4diac и среду исполнения forte.

Для инструмента, предназначенного для построения распределенной системы управления и активно использующей сетевые соединения, крайне актуальной является задача

обеспечения безопасности компонентов системы управления. В докладе рассматривается вопрос построения киберимунного решения на базе 4dias и KasperskyOS CE. KasperskyOS включает встроенные механизмы для разбиения системы на изолированные сущности, организации взаимодействия между сущностями при помощи IPC и сетевых соединения, а также надежного контроля взаимодействия между сущностями при помощи правил.

В докладе демонстрируются возможные подходы к разбиению и изоляции компонентов системы управления, построенной на языке IEC 61499, контроля коммуникации между сущностями, а также бесшовной интеграции данных механизмов в IEC 61499. Рассматриваются вопросы реализации функциональных блоков для удобной интеграции механизмов межпроцессного взаимодействия KasperskyOS в IEC 61499, вопросы безопасного хранения технологических и конфигурационных данных на вычислительном узле системы управления. Приводятся примеры организации безопасного сетевого взаимодействия компонентов системы управления на языках IEC 61499.

Литература:

1. IEC 61499-1:2012. Function blocks - part 1: Architecture. 2012.
2. Zoitl, A., Strasser, T., editors. Distributed control applications: guidelines, design patterns, and application examples with the IEC 61499. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group; 2016. ISBN 978-1-4822-5905-6.

### **Повышение точности предсказаний нейросетей при семантической сегментации зданий на аэрокосмических снимках**

Максимов Н.А., Прибытков К.И.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время в области компьютерного зрения большую популярность набирают глубокие нейронные сети, так как при их использовании повышается качество предсказаний, также нейронные сети имеют возможность понимать “контекст” изображений (например, для задачи классификации объектов). Однако на данный момент комбинирование классических методов обработки изображений с нейросетевыми методами не является популярной практикой, в то время как именно классические методы обработки изображений могут дать вспомогательные признаки нейросети для повышения качества ее предсказаний помимо признаков, которые нейросеть выделяет самостоятельно из подаваемого изображения.

Целью данной работы является исследование влияния комбинаций алгоритмов обработки изображений классического компьютерного зрения и нейронных сетей на точность предсказаний в рамках задачи семантической сегментации построек на аэрокосмических снимках.

Суть предлагаемого подхода состоит в том, чтобы конкатенировать выход оператора классического компьютерного зрения с изначальным изображением, тем самым давая дополнительные признаки для нейросети.

Для проверки выдвигаемых гипотез были выбраны две нейросети и два оператора из классического компьютерного зрения. В качестве нейросетей были выбраны легковесная нейросеть ENet и которая предназначена для работы на устройствах с ограниченным количеством ресурсов, а также нейросеть UNet, которая является базовой и распространенной нейросетью для семантической сегментации. В качестве подходов из компьютерного зрения были выбраны оператор Собеля и оператор Канны.

В ходе исследований было выявлено, что конкатенация выхода оператора Собеля к исходному изображению не дает большого прироста в качестве предсказаний для нейросети UNet, однако для ENet качество предсказаний выросло на 3,1% по Индексу Жаккара и 1,6% по метрике Ассигасу. Также было выявлено, что конкатенация выхода оператора Канны к исходному изображению дает прирост в точности для легковесной нейросети ENet, а именно Индекс Жаккара вырос на 1,9%, а Ассигасу на 1%. В то же время для UNet не произошло сильного прироста в точности. Это связано с тем, что в UNet достаточно обученных параметров, чтобы самостоятельно извлекать необходимые признаки из изображения, в то время как ENet является легковесной моделью и нуждается в дополнительных признаках.

В ходе исследования было выявлено, что операторы Канны и Собея являются оптимальным выбором для решения поставленной задачи, если используется легковесная нейросеть, в данной работе это ENet. Легковесные нейросети закономерно обучаются хуже, чем нейросети с большим количеством параметров, однако и работают быстрее, а также не требуют большого количества ресурсов оперативной памяти или видеопамати, а использование выхода с операторов Канны или Собея для получения дополнительных признаков может повысить точность таких нейросетей.

### **Динамическое планирование миссии для группы БЛА с централизованным управлением**

Максимова В.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

Беспилотные летательные аппараты широко используются как в гражданских, так и в военных приложениях. Постепенно осуществляется переход от одиночного применения к групповому применению БЛА. В данной работе рассматривается вариант группового применения БЛА в целях разведки, причем управление БЛА и съем информации осуществляется на центральном пункте управления, который находится на пилотируемом аппарате, сопровождающем группу на расстоянии радиовидимости ее членов. На БЛА группы возлагается определенный круг задач, который называется миссией. При выполнении миссии некоторые БЛА могут быть выведены из строя, подавлены средствами радиоэлектронной борьбы и т.д. Это требует осуществления динамического перепланирования заданий миссии для всех или части БЛА. Проблема усложняется тем что перепланирование должно осуществляться на центральном пункте управления, а он не имеет информации в реальном времени о состоянии всех БЛА группы.

Планирование и перепланирование миссии на уровне распределения задач между БЛА осуществляется на центральном пункте управления. Перепланирование выполнения задач каждым БЛА производится путем его попытки встроить новую (дополнительную) задачу в существующую очередь. При этом необходимо учитывать оставшиеся у каждого БЛА энергетические ресурсы (или остаток топлива), а также расположение нового объекта наблюдения и характер задачи.

Мы считаем, что миссия включает несколько различных задач, которые могут быть выполнены всеми или частью БЛА из их общего числа  $n$ . Каждый из БЛА характеризуется следующими параметрами: скорость, оставшийся в данный момент запас топлива или энергии, координаты местоположения, текущий курс и перечень задач, возложенных на него при первоначальном планировании миссии.

Для поддержания актуального представления центра управления о состоянии всех БЛА группы они периодически передают в центр краткие сообщения о своем положении, остатках топлива и выполненных заданиях. Это позволяет центральному пункту управления обоснованно производить перепланирование при изменении состава группы.

При поступлении новой задачи на БЛА он решает задачу оптимального ее встраивания в существующую очередь задач. Если это невозможно сделать, например, из-за дефицита оставшегося топлива, то указанная задача возвращается в центр. Так продолжается до тех пор, пока все задачи миссии не будут выполнены.

В ходе работы была создана имитационная модель, учитывающая все описанные выше особенности функционирования группы БЛА по выполнению миссии. Проведенные эксперименты показали эффективность предложенного подхода. Вместе с тем, они позволили выявить ограничения модели: постоянная высота и скорость полета, возможность потери связи между БЛА и центральным пунктом и ряд других. Снятие этих ограничений станет предметом дальнейших исследований.

## **Разработка программного модуля управления транспортными потоками на базе алгоритма машинного обучения с применением нейронных сетей**

Мамонтов В.Д., Кохановский В.Е., Николаев П.Л.

МАИ, г. Москва, Россия

На данный момент в мире стремительно растет уровень автомобилизации, в связи с чем появляется необходимость в разработке нового программного обеспечения для управления транспортными потоками с большей эффективностью, так как большинство систем не имеет встроенных интеллектуальных модулей, позволяющих существенно облегчить работу операторов или изменять сценарии управления.

В рамках данной работы будет спроектирован и разработан прототип программного модуля управления транспортными средствами с помощью светофоров. Реализация будет проводиться на базе алгоритма машинного обучения с подкреплением.

Для решения данной задачи необходимо:

Провести анализ уже существующих разработок.

Выбрать и обосновать технические средства.

Разработать модуль интеллектуального управления светофорами.

В рамках реализации задачи были проанализированы такие системы управления как:

АСУДД “Микро” и СУДД “Вектор”. Данные системы позволяют автоматизировать процессы управления потоками, однако в них отсутствует интеллектуальная система для изменения сценариев в автоматическом режиме.

В качестве программного средства моделирования транспортных потоков был выбран портативный симулятор SUMO, который позволяет воспроизводить сложные дорожные сети и язык программирования Python, существенно облегчает интегрирование с SUMO. Так же Python сильно упрощает реализацию алгоритмов машинного обучения, благодаря большому количеству специализированных библиотек.

Главной задачей автоматизации является создание модели окружения, для симуляции транспортных потоков с подключенным эмулятором СУДД, для определения загруженностей светофоров. И создание модуля интеллектуального управления с агентом искусственного интеллекта, который сможет обучаться и изменять сценарии управления транспортными потоками.

Для создания прототипа программного модуля управления транспортными средствами, были проанализированы системы управления АСУДД “Микро” и СУДД “Вектор”, в качестве используемых технологий использовались портативный симулятор SUMO и язык Python.

• Marco Wiering. Multi-agent Reinforcement Learning for Traffic Light Control // University of Utrecht, Netherlands. 2000.

• Jeffrey Glick. Reinforcement Learning For Adaptive Traffic Signal Control // Stanford University. 2015.

• Simulation/Output/Induction Loops Detectors (E1) – SUMO Documentation

• Чю К., Фримэн Д. Машинное обучение и безопасность / пер. с англ. А. В. Снастина. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 388 с.: ил.

• Traffic Control Interface – Sumo

• Simulation/Traffic Lights – SUMO Documentation

## **Разработка системы управления автономной посадкой малоразмерного беспилотного летательного аппарата на подвижную платформу**

Мелюков С.А., Фомичев А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Автономная посадка на движущуюся платформу является сложной задачей из-за внешних помех и ошибок локализации. Способность мультиторных малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (МБЛА) выполнять стационарный полет в режиме зависания делает их особенно интересными для различных применений, например, для наблюдения за объектами, доставки посылок или поисково-спасательных операций. Однако в то же время их сложно использовать самостоятельно из-за относительно короткого срока службы

батареи и дальности действия. При проведении поисково-спасательных операций синергия между наземными и воздушными транспортными средствами могла бы помочь сэкономить драгоценное время миссии и проложить путь к эффективному развертыванию большого парка автономных МБЛА. Наземные транспортные средства могли бы решить эту проблему и обеспечить более эффективное развертывание и восстановление на местах. Например, для перевозки можно было бы использовать грузовики доставки, общественные автобусы или морские перевозчики [1, 2].

Методы технического зрения широко применяются для посадки МБЛА на подвижные и неподвижные платформы. Большая часть этих методов основана на распознавании маркеров. К ним относятся SIFT, SURF и findContours. Вторая часть методов базируется на распознавании образов. Среди них можно выделить алгоритмы нахождения образа по скользящему просмотру, методы машинного обучения на базе различных изображений и методы выделения основных признаков изображения. Однако все вышеперечисленные методы напрямую зависят от различных факторов, например, от прямой видимости платформы на протяжении всей операции, поскольку МБЛА при посадке опирается исключительно на визуальную информацию.

Альтернативные методы включают в себя установку дополнительных датчиков на движущийся объект (например, дорогостоящие устройства RTK-GPS). В то же время, возможно применение алгоритмов прогнозирования траектории платформы при посадке. Кроме того, некоторые из ранее упомянутых решений полагаются на внешние вычисления, такие как связь между МБЛА и наземной станцией для оценки состояния, подразумевающей активную передачу информации от объекта, что является ограничением для полностью автономной работы.

На основании вышесказанного предлагается осуществлять операцию посадки МБЛА на подвижную платформу с применением технологий технического зрения с решением следующих задач:

- По поиску и обнаружению платформы с применением ТВ/ИК камер, первая позволит производить точную посадку в условиях засвета, а вторая позволит производить посадку в темное время суток и в условиях недостаточной видимости.
- По сближению МБЛА с подвижной платформой.
- По управлению процессом посадки на подвижное основание в условиях воздействия различных возмущений.

Вместе с тем, на кадрах видеоизображения может находиться несколько платформ, которые расположены внутри транспортного средства и тогда появляется задача выбора и распознавания требуемого места посадки.

Литература:

1. Garone, E., Determe, J.-F., and Naldi, R., "Generalized Traveling Salesman Problem for Carrier-Vehicle Systems," *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 37, No. 3, 2014, pp. 766–774
2. Mathew, N., Smith, S. L., and Waslander, S. L., "Planning Paths for Package Delivery in Heterogeneous Multirobot Teams," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol. 12, No. 4, 2015, pp. 1298–1308

### **Исследование погрешности определения пустот в паяных соединениях**

Минасян В.Б.

МАИ, г. Москва, Россия

В свете постоянного усложнения электроника, возрастающей плотности компонентов и увеличения сложности производственных процессов, возникает всё более насущная проблема обеспечения надежности изготовления. В этом контексте значение рентгеновского контроля увеличивается. Одной из трудностей заключается в выявлении дефектов, которые видны только при определенных углах обзора, а также в областях печатных узлов, скрытых за радиаторами.

Среди различных методов рентгеновского контроля, следует выделить метод компьютерной томографии, который предоставляет возможность получить трехмерное

воксельное изображение, отображающее детальную внутреннюю структуру объекта согласно ее радиопрозрачности, что позволяет выявлять различные дефекты.

Одним из наиболее часто встречающихся дефектов является наличие пустот в паяных соединениях, при этом существует процентное пороговое значение, менее которого пустоты в паяном соединении не являются дефектом. Для точного определения процента пустот в паяном соединении предлагается использовать метод определения объемной пористости. Однако, при этом возникает погрешность измерения, связанная с соотношением размера пустот и разрешающей способностью получаемой томограммы, а также с наличием шумов на рентгеновских снимках.

Для оценки погрешности при расчете процентного содержания пустот была разработана методика, позволяющая определить влияние использования конкретной разрешающей способности, а также остальных факторов в процессе проведения компьютерной томографии. Это достигается путем исследования калибровочных образцов, представляющих собой кубы с отверстиями разного диаметра, которые имитируют пустоты разного размера. Достоверность размеров отверстий подтверждается при помощи конфокальной лазерной сканирующей микроскопии (КЛСМ). На основании данных, полученных при помощи КЛСМ и расчета количества пустот по томограмме рассчитывается погрешность.

Данная методика позволит точнее планировать рентгеновские исследования печатных плат и узлов. Предварительные результаты указывают на значительное влияние шумов и искажений, возникающих при проведении компьютерной томографии на погрешность определения пустот.

Литература:

1. 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.

2. 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

3. 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.

4. Минасян В.Б., Кадочников А.А. «Разработка шкалы радиопрозрачности для обработки данных компьютерной томографии в рамках рентгеновского контроля печатных плат» // 21-я Международная конференция «Авиация и космонавтика»; ноябрь 2022г., Москва. Тезисы.

### **Сравнение инструментов автоматизированного тестирования web-приложений**

Мироненко А.В., Кейно П.П.

МАИ, г. Москва, Россия

В современном информационном обществе автоматизация имеет ключевое значение. Это касается не только производственных процессов и рутинных задач, но также и тестирования программного обеспечения. Автоматизированное тестирование – это важная часть разработки и поддержки программных продуктов, и оно играет большую роль в обеспечении их качества и надежности.

Автоматизированное тестирование представляет собой эффективный и масштабируемый метод проверки программного кода на соответствие установленным техническим требованиям и выявление потенциальных проблем. Оно позволяет сократить время и ресурсы, ранее затрачиваемые на ручное тестирование, и обеспечивает большую точность и повторяемость результатов.

В данной работе было проведено сравнение нескольких популярных инструментов автоматизированного тестирования, включая Cypress, Playwright, Puppeteer, а также различные реализации Selenium, такие как selenium desktop application, docker-selenium и selenium.

Сравнение инструментов тестирования включало в себя рассмотрение таких аспектов, как скорость выполнения тестов на коротких и длинных сценариях, поддерживаемые браузеры и платформы, а также другие характеристики, влияющие на эффективность тестирования.

Этот сравнительный анализ помог выявить преимущества и недостатки каждого инструмента, а также определить сферу их применения.

Результаты данного исследования могут служить основой для выбора наилучшего инструмента автоматизированного тестирования программного обеспечения в зависимости от конкретных сценариев использования и требований проекта.

Литература:

1. Дастин Э., Рэшка Дж., Пол Дж. "Автоматизированное тестирование программного обеспечения. Внедрение, управление и эксплуатация." Лори, 2019 г.

### **Разработка способа настройки радиоотражающей поверхности крупногабаритного космического рефлектора**

Митин Ф.В., Кривушов А.И., Коноплев Ю.В., Ширшов А.Д.

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

Для решения задач исследования космоса и осуществления спутниковой связи применяются различные конструкции космических рефлекторов. Одним из активно развивающихся направлений является создание крупногабаритных трансформируемых систем. Особенность таких систем – большое значение отношения объема рефлектора в рабочем состоянии к объёму в сложенном состоянии, что вызвано необходимостью доставки антенны на орбиту в ракетоносителе.

В процессе эксплуатации крупногабаритных рефлекторов космического базирования возникает задача настройки и поддержания заданной формы радиоотражающего полотна. Обеспечение данного требования позволяет повысить качество передаваемого или получаемого сигнала. Ввиду условий применения конструкции в космосе на систему оказываются значительные возмущающие воздействия, таких как перепад температуры, космическая радиация, солнечный ветер и другие. Изменение положения конструкции больших размеров приводит к возникновению колебательного процесса. Отдельно встает вопрос о контроле формы параболической антенны и возникающих при этом шумах измерений.

В данной работе предложен новый способ настройки радиоотражающей поверхности крупногабаритного космического рефлектора с использованием его токопроводящих конструктивных частей. Разработана конструкция исполнительного устройства, позволяющая управлять несколькими точками актуации. Показаны результаты применения различных алгоритмов управления исполнительным устройством, позволяющим корректировать сетеполотно с учетом минимизации энергетических затрат и колебаний конструкции. По результатам моделирования оптимальный алгоритм иерархии целевых критериев показал большую устойчивость в плане сходимости при наличии шумов измерений и возмущений, что позволяет применять его в режиме реального времени.

Результаты данных исследований можно применять для расчета энергетических затрат, выбора исполнительного устройства и энергетической установки рефлектора космического базирования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10112, <https://rscf.ru/project/22-79-10112/>.

### **Методика прогнозирования причин отказов сверхбольших интегральных схем на основе функционального контроля**

<sup>1</sup>Назаров А.В., <sup>1</sup>Смирнов К.К., <sup>2</sup>Владимирова А.А., <sup>2</sup>Бобринёв М.М.

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>НИИ Системных исследований РАН, г. Москва, Россия

Современные разработчики радиоэлектронной аппаратуры все чаще применяют сверхбольшие интегральные схемы (СБИС) в своих проектах. Уровень интеграции этих СБИС значительно превышает уровень интеграции традиционных больших интегральных схем (БИС) (на порядок и больше). Однако, процесс получения и обработки результатов

измерений СБИС оказывается значительно более трудоемким, чем в случае получения аналогичных результатов для больших интегральных схем. Если на этапе функционального контроля БИС массив данных измерений составляет несколько тысяч значений, то в случае СБИС этот массив увеличивается до десятков тысяч значений. Группа показателей, полученных в результате исследований, имеет важное значение для определения причин возникновения отказов полупроводниковых пластин при производстве СБИС. Методы прогнозирования причин отказов, основанные на визуальном отображении результатов измерений, позволяют быстро отреагировать на изменение производственных условий и предотвращать возникновение дефектов. В работе был проведен анализ зависимостей параметров от различных производственных факторов с использованием методов математической статистики. Это позволило выявить влияние различных факторов на качество изготовления полупроводниковых изделий. Результаты исследований позволяют прогнозировать причины возникновения отказов и предпринимать необходимые меры для предотвращения их появления. Это важно для обеспечения высокого качества СБИС и минимизации доли брака. Таким образом, применение методов и инструментов математической статистики в анализе результатов измерений полупроводниковых изделий в условиях производства СБИС позволяет улучшить контроль качества и повысить эффективность производства.

1. Konstantin Smirnov, Alexander Nazarov, Alexander Engalychev, Preparation and processing of big data during of industrial testing of VLSI, SCIREA Journal of Materials. Vol. 5, No. 2, 2020, pp. 17 - 28.

### **Использование модели сегментации объектов в системе управления посадки беспилотного летательного аппарата космического назначения с помощью глубокого обучения**

Наумов А.Н., Романова-Большакова И.К.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

В рамках проектирования и разработки беспилотного летательного аппарата космического назначения одной из важнейших проблем является обеспечение посадки в неизвестной местности в случае отсутствия связи с оператором. Отсутствие алгоритмов автоматической посадки может привести к разрушению аппарата или находящихся рядом объектов окружающей среды. Для решения данной проблемы спроектирована система управления беспилотным летательным аппаратом космического назначения с встроеной моделью сегментации глубокого обучения для адаптивного поиска наилучшего варианта посадки. Анализ вариантов посадки осуществляется на основе получаемого видеопотока с бортовой камеры.

Проектируемая модель обучалась на семи классах объектов: здания, леса, водные ресурсы, дороги, поля, объекты деятельности человека и автомобили. Результатом работы нейронной сети является сегментированное изображение, разбитое на части в соответствии с принадлежностью к определенным объектам. Информация в виде обработанной картинки отправляется в процессор системы управления, который алгоритмически рассчитывает наиболее подходящее место посадки с учетом показаний телеметрии и состояния аппарата и корректирует посадку, отправляя сигналы на двигатель.

В данной работе был использован набор спутниковых снимков высокого разрешения, полученных из общедоступных источников [1]. Рассматриваемые снимки были тщательно подобраны в качестве тренировочных данных для обучения нейронной сети, предназначенной для задачи детектирования объектов на изображениях.

В ходе проведения исследования в рамках разработки модели сегментации поверхности Земли была достигнута точность более 94 процентов на тестовой выборке. Учитывая коэффициенты запаса и последующую обработку выходящей информации, полученная модель может быть внедрена в систему управления [2,3], проектируемую для БПЛА квадрокоптерного типа.

Литература:

1. Банк спутниковых снимков. [ссылка для доступа] <https://www.kaggle.com/code/chrisnick92/deeplearning-on-landcoverai>
2. Liang-Chieh Chen, Yukun Zhu, George Papandreou, Florian Schroff, Hartwig Adam. Encoder-Decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation
3. Р.В.Ермаков, А.А. Львов, А.Р. Новиков, Д.Ю. Лившиц Использование нейронной сети для построения алгоритма стабилизации беспилотного аппарата вертолетного типа. Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. 2020. №4

### **Сравнение методов численного нахождения экстремума произвольной функции большого количества переменных**

Наштыков Д.Е., Кейно П.П.  
МАИ, г. Москва, Россия

Нахождение экстремумов функции – задача не всегда выполнимая аналитическими методами. Вместо них можно использовать методы численного нахождения данных точек, жертвуя абсолютной точностью результата.

Численный метод – способ нахождения приближенного решения поставленной задачи. Данный метод наиболее часто встречается при решении задачи линейного программирования – нахождения условного минимумов и максимумов функции. В данном случае, условный минимум и максимум подразумеваются как точки, найденные при существовании ограничений на значение функции или ее переменных.

Численные методы в большинстве своем итеративны, что подразумевает повторение большого количества расчетов при изменении параметров, что в свою очередь несет за собой повышение требований к вычислительной мощности машины. Более того, некоторые из этих методов подразумевают вычисление производных функций, что так же увеличивает нагрузку на систему.

Численные методы успешно применяются при оптимизации функций, например, на производствах. На практике, количество переменных в функции может быть достаточно большим, что вызывает проблемы при итеративном решении задач, так как на каждой итерации приходится проводить все вычисления заново. Для частичного решения этой задачи в рамках данной работы я рассматриваю возможность использования параллельных вычислений.

Однако ускорение вычисления исследуемой функции – минимальное действие, которое, однако, не влечет за собой значительное ускорение вычислений локальных минимумов и максимумов. На сегодняшний день существует множество численных методов нахождения условных экстремумов. В рамках данной работы производится сравнение некоторых из данных методов при исследовании функций с большим количеством переменных.

В качестве исследования используется функция нахождения прибыли при торговле облигациями в течение года, переменными функции которой являются количество купленных и проданных облигаций в каждый будний день года, на примере которой рассматривается, какой из методов оптимизации функции работает наиболее быстрым образом. В результате работы был найден наименее затратный по времени метод для выбранной задачи.

Литература:

1. Обзор методов численной оптимизации. Безусловная оптимизация: метод линий Лозовский А. [Электронный ресурс] / URL: <https://habr.com/ru/articles/561128/> (дата обращения: 19.10.2023).

## **Архитектура высоконагруженного интернет-сервиса: образовательная платформа для изучения авиационных материалов**

Никитин А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Большую популярность в настоящее время набирают различные образовательные платформы. Суть которых заключается в быстром получении различных знаний в разных отраслях.

Важную роль при проектировании любой авиационной техники играют материалы. Для повышения доступности образования в сфере материаловедения для авиации необходимо разработать интерактивную образовательную платформу.

Цель работы: разработать архитектуру образовательной платформы для изучения авиационных материалов.

Для достижения цели необходимо решить ряд задач:

- Проанализировать функционал различных образовательных платформ.
- Рассмотреть необходимый функционал и архитектуру для разрабатываемой платформы.

Из работы [1] можно выделить следующие популярные образовательные платформы: «Skillfactory», «Открытое образование», «GeekBrains», «Stepik». Платформы предлагают большой ассортимент курсов, интуитивный интерфейс для прохождения курсов, отметку о прохождении, личный кабинет для пользователя и другой функционал.

Будущая платформа должна предоставлять информацию по авиационным материалам, различные курсы для прохождения в области материаловедения. А также отличительной особенностью от рассмотренных платформ, необходимо предоставить возможность пользователям ввод геометрических размеров и различных условий среды для выбранного материала для расчета различных физических величин. А также возможность просмотра интерактивной карты по производству и добыче различных материалов.

Для разработки платформы будет применяться микросервисная архитектура, будут следующие микросервисы: микросервис пользователей, микросервис предоставления информации о авиационных материалах, микросервис для прохождения курсов, микросервис для расчетов физических величин, микросервис для интерактивной карты.

Для пользователей необходимо отмечать информацию о прохождении курсов, а также избранную информацию о материалах в личном кабинете.

Представление информации о авиационных материалах необходимо реализовать с возможностью добавления в избранное для авторизованных пользователей, а также простой интерфейс для быстрого поиска нужной информации.

Для прохождения курсов будет предоставлен интуитивный интерфейс и прогресс выполнения каждого курса в личном кабинете пользователя.

Интерактивная карта будет реализована в границах России.

Из вышеуказанной информации можно сделать вывод, что для повышения доступности образования необходимо разработать высоконагруженную платформу, которая будет предоставлять возможность пользователям изучать информацию о авиационных материалах, проходить различные курсы, вводить необходимые параметры для расчетов, смотреть на интерактивную карту по добыче и производству авиационных материалов.

Литература:

1. Официальный сайт образовательно-новостного ресурса «Habr» - <https://habr.com/ru/articles/513490/> (дата обращения 09.10.2023).

## **Интеграция гетерогенных информационных систем с помощью ETL-сервисов и веб-сервисов**

Никонов Ю.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

Россия на текущий момент находится на этапе цифровой трансформации, в том числе в экономике. Происходит непрерывное накопление огромного количества гетерогенных данных [1]. Перед компаниями и государством стоит задача интеграции данных между текущими системами (в том числе выходящими из эксплуатации) и проектируемыми.

Существуют различные способы интеграции данных между системами. Рассмотрим вариант, когда необходимо перенести данные из системы А в систему Б. Предлагается задачу решать в 2 шага:

1. На основе ETL-сервиса [2] обеспечить импорт данных из системы А в базу данных (реляционную и/или нереляционную).

2. На основе веб-сервисов (Rest API (в формате xml или json), GraphQL (возможен только json формат)) обеспечить экспорт данных в систему Б.

Благодаря использования комбинации сервисов, типов баз данных, а также типов хранения/передачи данных рассмотрим возможность выбора оптимального варианта интеграции в зависимости от установленных критериев (время, тип данных, объем данных и т.д.).

В рамках решения задачи комбинаторной оптимизации находят применение различные алгоритмы: алгоритм Дейкстры, алгоритм Беллмана — Форда, алгоритм Флойда — Уоршелла, алгоритм Джонсона.

Анализ специфических особенностей рассматриваемой задачи определяет целесообразность использования алгоритма Беллмана — Форда [3]; его преимуществом является допуск к расчету ребер с отрицательным весом.

Для расчета способа интеграции данных введем значение отрицательного веса для неиспользуемых цепочек. Эффективность оценки каждой цепочки будем определять на основе расчета минимального и максимального значения.

Использование ETL-сервисов и веб-сервисов является одним из методов решения задач интеграции данных. Использование разработанных алгоритмов позволит определить их оптимальную комбинацию для установленных критериев.

Литература:

1. The Digitization of the World – From Edge to Core [Электронный ресурс]. – URL:: <https://www.seagate.com/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf> (дата обращения 03.10.2023).

2. Ciprian-Octavian Truica. The Forgotten Document-Oriented Database Management Systems: An Overview and Benchmark of Native XML DODBMSes in Comparison with JSON DODBMSes / Ciprian-Octavian Truica, Elena-Simona Apostol, Jerome Darmont, Torben Bach Pedersen // Big Data Research. 2021. Volume 25.

3. Чертков А.А. Маршрутизация потоковой сети на основе модификации алгоритма Беллмана-Форда / Чертков А.А., Каск Я.Н., Очина Л.Б. Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова, Том 14, №4, 2022

### **Терминальное управление расходом топлива, обеспечивающее максимальные энергетические характеристики ракетносителя при решении задачи выведения полезной нагрузки**

Новиков А.А., Иванов В.П.  
ИПУ РАН, г. Москва, Россия

Рассматриваются терминальные задачи управления расходом топлива и движения центра масс жидкостной ракеты носителя. Формулируются основные требования к решению этих задач:

- Наиболее полное использование запаса топлива с целью повышения энергетических возможностей ракеты-носителя и минимизации остатков токсичных компонентов топлива (гептил).
- Условие безаварийного выключения двигателя – исключение возможностей работы на одном компоненте.
- Ограниченный район падения отработавшей ступени.

Для решения этой терминальной задачи используется согласованное управление. Это значит, что управление движением центра масс и расходом топлива нижних ступеней РН осуществляется таким образом, чтобы обеспечить решение задачи выведения к моменту полной выработки топлива. Момент полной выработки одного из компонентов топлива определяется по информации датчиков СУРТ о текущих запасах топлива.

В докладе ограничимся только задачей управления расходования компонентами топлива с учетом согласования такого управления с движением центра масс. Для решения задачи используются дифференциальные уравнения, определяющие процессы расходования компонентов топлива. Начальные условия по массе и расходам компонентов топлива неизвестны. Массы и расходы измеряются в процессе управления.

Заданы краевые условия и ограничения по коэффициенту соотношения расходов топлива, определяемые условия безопасности работы двигателя. Управление расходованием топлива производится путем изменения параметра коэффициента соотношения расходов топлива двигателя. Управление ищется в классе кусочно-постоянных функций времени и прогнозируемых невязок (по окислителю и горючему). Управление задается с учетом минимизации отклонения удельной тяги двигателя в конце полета и соответствующих потерь в энергетике.

Синтезируется алгоритм управления по коэффициенту соотношения расходов топлива, удовлетворяющий заданным краевым условиям по остаткам компонентов топлива в момент выключения двигателя. Приводятся результаты моделирования рассмотренной задачи.

Литература:

1. Сихарулидзе Ю. Г. Баллистика и наведение летательных аппаратов. - М.; БИНОМ. Лаборатория знаний. 2011.

2. В. П. Иванов, В. К. Завадский, ИПУ РАН, А. Д. Гуськов, В. Д. Дишель, И. В. Васягина, В. Д. Кислик, ФГУП «НПЦ АП им. академика Н. А. Пилогина» Терминальное управление наведением ракеты-носителя и расходованием топлива в режиме его полной выработки

### **Исследование влияния электромагнитного излучения на сердечно-сосудистую систему человека с использованием современных информационных технологий**

Орешина М.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Увеличением устройств, генерирующих электромагнитные колебания в процессе своей работы и применение новых технологий, вызывают необходимость исследования негативного влияния электромагнитного излучения (ЭМИ) на организм человека.

Целью работы является исследование влияния ЭМИ на сердечно-сосудистую систему человека с использованием IT-технологий, выбор и обоснование мер защиты от негативного воздействия ЭМИ.

Для реализации данной цели были сформулированы следующие задачи:

- Определить параметры электромагнитных полей, создаваемых различными источниками, рассмотреть степень влияния ЭМИ на сердечно-сосудистую систему человека в зависимости от интенсивности, частоты, времени экспозиции.
- Разработать рекомендации, которые позволяют обеспечить функционирование сердечно-сосудистой системы в нормальном режиме.

Анализ литературных источников показал, что для нормального функционирования сердечно-сосудистой системы человека, напряженность электромагнитного поля, создаваемого окружающим оборудованием и ЛЭП должна находиться в диапазонах от 0,05...5 кВ/м [1,2].

Сердечно-сосудистая система является системой органов, обеспечивающих циркуляцию крови в организме человека. Анализ многочисленных экспериментов, проведенных как в РФ, так и за рубежом показал, что при воздействии ЭМП различной интенсивности наблюдалось существенное изменение насосной функции сердца, нарушались фазы и интенсивность функций сокращения и расслабления. Влияние ЭМП на организм человека в целом, прежде всего на деятельность сердца, проявлялось в нарушении ритма сердечбиений.

Для решения поставленных задач, в ходе проведенного исследования была создана цифровая модель, то есть виртуальный прибор, имитирующий работу сердца при различных видах внешних электромагнитных воздействий, основной функцией которого является генерирование сигналов электромагнитного поля и сердечных ритмов человека, а также активация системы предупреждений в случае выявления некорректных показателей. Данный виртуальный прибор был разработан с использованием программной среды LabVIEW.

С использованием результатов данной модели, на основе корреляционных зависимостей проведен анализ изменений сердечных импульсов при воздействии электромагнитных колебаний различной интенсивности, доказано, что чем выше интенсивность электромагнитных колебаний, тем более выражен характер патологий в работе сердечно-сосудистой системы.

Допустимые по интенсивности и частоте ЭМИ определены санитарными нормами и правилами. Основными мерами защиты от воздействия ЭМП являются создание и использование экранирующих устройств и средств индивидуальной защиты.

Создание нового высокопроизводительного оборудования позволяет решать вопросы научно-технического прогресса, но в тоже время приводит к увеличению интенсивности электромагнитных полей, окружающих современных людей, поэтому забота о здоровье человека является одной с приоритетных задач, стоящих перед современным обществом.

Литература:

1. Орешина М.Н. Исследования воздействия электромагнитных излучений на организм человека / М.Н. Орешина, Е.Ю. Савенко - Известия Тульского государственного университета. Технические науки №3, Тула, 2021. С 342-347.

2. Орешина М.Н. Цифровые технологии в исследованиях воздействия ЭМИ на организм человека/ М.Н. Орешина, А.С. Кузьмичева - Материалы IV Международного форума "Шаг в будущее: искусственный интеллект и цифровая экономика - М., 2021. С.279-285.

### **Оптимизация запросов с помощью индексов в PostgreSQL**

Пантюк Т.А., Матвеев А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Вначале мы рассмотрим основные принципы оптимизации запросов и важность использования индексов для достижения высокой производительности базы данных. Затем мы погрузимся в различные типы индексов, такие как В-дерево, хеш, GiST и GIN, и рассмотрим их особенности и преимущества.

В докладе мы обсудим процесс создания и управления индексами в PostgreSQL. Мы рассмотрим наиболее эффективные стратегии выбора столбцов для индексации и дадим рекомендации по оптимальному использованию индексов в разных сценариях.

Далее мы проведем анализ преимуществ использования индексов в запросах. Мы рассмотрим ситуации, где индексы значительно ускоряют поиск, фильтрацию и сортировку данных. Также мы обсудим оптимизацию соединений таблиц с использованием индексов.

Однако важно понимать, что использование индексов также имеет ограничения и проблемы. В рамках доклада мы кратко остановимся на этих аспектах, чтобы принять взвешенное решение при оптимизации запросов с помощью индексов.

В докладе мы также предоставим практические примеры оптимизации запросов с помощью индексов. Мы сравним производительность запросов до и после применения индексов, чтобы продемонстрировать их эффективность и влияние на общую производительность системы.

И в заключение, мы подведем итоги и предоставим некоторые рекомендации по использованию индексов в PostgreSQL для оптимизации запросов. Мы подчеркнем их значимость и важность в повышении производительности баз данных PostgreSQL.

### **Теория, алгоритмические и программно-аппаратные решения задач навигации и ориентации гетерогенных роботов в группе**

Петрухин В.А., Черникова О.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Исследование проведено в рамках решения проблемы автоматизации мониторинга наружной поверхности воздушного судна на его стоянке, а также поверхности объектов аэродромной инфраструктуры.

Носителем аппаратуры мониторинга является группа гетерогенных роботов в составе воздушного и наземного колесного. Целью исследования является разработка подхода к

формированию рациональных траекторий скоординированного перемещения гетерогенных роботов в группе в процессе дефектоскопического мониторинга.

Получен итеративный алгоритм трехмерного планирования траектории для группы роботов. Алгоритм обеспечивает полное покрытие объекта мониторинга. Предложена процедура сглаживания траектории, учитывающая ограничения на метрологические возможности аппаратуры мониторинга и на динамику компонентов гетерогенной группы. В каждой итерации алгоритма набор точек обзора, составляющий траекторию осмотра, выбирается следующим образом: при известной 3D-модели осматриваемого объекта обеспечивается формирование точек осмотра с достижением полного покрытия осматриваемого объекта со всех включенных в набор точек осмотра. С учетом ограничений аппаратуры мониторинга; оценивается и минимизируется стоимость пути между точками осмотра для каждого носителя аппаратуры мониторинга; определяется наличие препятствий на соединяющем точки маршруте и формируется участок траектории, огибающий препятствие, с учетом динамики носителя аппаратуры мониторинга. Представлены результаты моделирования, подтверждающие эффективность принятых решений.

Полученные результаты способствуют обеспечению высокого качества фотомониторинга наружных поверхностей стационарных объектов, расположенных на открытых пространствах. Они могут быть также использованы при решении разнообразных задач охраны и картографирования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-29-00958).

#### **Классификация текстовой информации при помощи искусственного интеллекта**

Пименова О.В., Галиев Д.В., Жиганин А.Я.

МосУ МВД России им. В.Я. Кикотя, г. Москва, Россия

В эпоху нейросетевых технологий люди стали решать при помощи искусственного интеллекта различные задачи. Так, множество крупных компаний использует чат-боты для обработки запросов пользователей, копирайтеры используют нейросети для генерации уникального контента в своих заказах и т.д. С внедрением подобных технологий генерирования бесконечных объемов текстовой информации человеку все сложнее воспринимать контент. Таким образом, зачастую возникает задача не по созданию текстовой информации, а по ускорению её восприятия и классификации данных.

Для решения подобной задачи, связанной с обработкой естественного языка, была написана программа на языке программирования Python. Данная разработка включает в себя ряд функциональных модулей: лемматизации текста, обучения модели искусственного интеллекта, построения ассоциаций.

Модуль лемматизации нормализует текст, т.е. приводит слова к начальной словарной форме, удаляет союзы, местоимения, частицы и междометия. Для работы модуля используются библиотеки nltk (удаление стоп-слов) и morphology2 (морфологический анализ текста).

Для эффективной работы программы необходимо производить обучение модели искусственного интеллекта на заранее подготовленных массивах данных. Для решения данной задачи был написан отдельный функциональный модуль, использующий класс Word2Vec из библиотеки gensim, который используется для построения модели, а также дальнейшей работы системы построения ассоциаций. В зависимости от загружаемых дата-сетов можно создавать модели, ориентированные на различные задачи.

Одним из модулей для практического применения, который был написан в рамках данного проекта – модуль построения ассоциаций, на вход которому подается текст после лемматизации, а на выходе, из которого пользователь получает таблицу, классифицирующую текст по ключевым словам.

Точность классификации в первую очередь зависит от дата-сета, на котором проводилось обучение модели искусственного интеллекта. В качестве рабочего применения данная программа была использована для классификации массива распорядительной документации по работе в организации. Таким образом, конечные исполнители получали лишь документы,

относящиеся лишь к их непосредственной деятельности, исключая из массива распоряжения для других сотрудников.

Подводя итог, необходимо отметить, что данной программой можно решать целый спектр задач по обработке текстовой информации от семантического анализа, до сравнения текстов по косинусной близости.

Литература:

1. Лейн Х., Хапке Х., Ховард К Обработка естественного языка в действии. – СПб.: Питер, 2020. – 576 с.
2. Филиппов К. А. Лингвистика текста: Курс лекций. - СПбГУ, 2003. - 336 с.
3. Bird S., Klein E., Loper E., Natural Language Processing with Python, 2009. – 504 p.

### **Оптимизация пользовательского опыта в чате с двунаправленным gRPC-стримингом: анализ и сравнение эффективности алгоритмов сжатия**

Пинегин А.А., Охрименко Н.И., Шевченко М.И.

МАИ, г. Москва, Россия

В современном обществе, где чаты и мессенджеры являются одними из важнейших средств коммуникации, оптимизация пользовательского опыта становится ключевым элементом успешной стратегии в области разработки и предоставления коммуникационных решений, которые соответствуют современным ожиданиям пользователей и делают их взаимодействие с технологией более эффективным и удобным. Постоянное увеличение объема информации, передаваемой через такие каналы, влечет за собой повышение требований к различным аспектам их работы, в том числе появляется и необходимость эффективной оптимизации при передаче данных.

Цель данной работы заключается в анализе и в сравнении эффективности различных алгоритмов сжатия данных (LZ4, Snappy, QuickLZ) в контексте двунаправленного gRPC-стриминга. Без оптимального сжатия, возрастающий объем информации может стать источником значительных задержек, снижения производительности, а также создания нагрузки на сети и серверы, что может негативно сказаться на пользовательском опыте.

Двунаправленный gRPC-стриминг позволяет установить соединение между клиентом и сервером, одновременно передавая данные в обоих направлениях, при этом обеспечивая интерактивное и эффективное взаимодействие в реальном времени. Для сериализации и десериализации данных, gRPC использует Protocol Buffers (Protobuf), что позволяет отправлять по сети данные более оптимального размера по сравнению с другими форматами (например, JSON). Это в свою очередь способствует ускорению коммуникации и сокращению нагрузки на сетевое оборудование.

Каждый из рассматриваемых алгоритмов сжатия представлен в виде компрессора для чата с полноценным графическим интерфейсом, что позволяет наглядно демонстрировать работу системы в реальном времени.

Помимо этого, в ходе исследования было выявлено несколько аспектов в работе библиотеки gRPC, которые могут быть подвергнуты оптимизации и усовершенствованию для рассматриваемого сценария использования. Эти усовершенствования могут способствовать более эффективной упаковке компрессируемых данных и улучшению общей читаемости кода.

В дополнение ко всему, в ходе работы было проведено тестирование с использованием бенчмарков на языке программирования Go для оценки эффективности реализованной системы при использовании соответствующих алгоритмов сжатия, а также использованы unit-тесты на языке программирования JavaScript для тестирования отдельных компонентов интерфейса.

1. Документация gRPC [Электронный ресурс] URL: <https://grpc.io/docs/>
2. Руководство пользователя Go [Электронный ресурс] URL: <https://go.dev/doc/>
3. Документация библиотеки gRPC для Go [Электронный ресурс] URL: <https://pkg.go.dev/google.golang.org/grpc>
4. Документация JavaScript [Электронный ресурс] URL: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript>

## **Основные проблемы проектирования драйверов с трансформаторной гальванической развязкой для управления высоковольтными силовыми транзисторными ключами**

Подгузова М.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Драйверы силовых транзисторных ключей являются неотъемлемой частью различных силовых электронных устройств преобразования, регулирования и распределения электроэнергии, и представляют собой специализированные электронные устройства сопряжения между маломощной схемой управления и силовыми транзисторными ключами (СТК) преобразовательного каскада. От качества работы драйвера во многом зависит работоспособность, надежность и эффективность всего преобразователя электроэнергии. Драйверы могут использовать различные виды гальванической развязки: оптронную, конденсаторную, трансформаторную.

Преимуществами трансформаторной гальванической развязки (ТГР) являются: возможность обеспечения высокого напряжения изоляции между первичной и вторичной сторонами драйвера; возможность передачи достаточного мощного сигнала управления, что в ряде случаев позволяет обойтись без блока вспомогательных напряжений (БВН) на вторичной стороне и существенно упростить схему драйвера и снизить его себестоимость; относительно малая чувствительность к внешним и внутренним электромагнитным помехам, а также к воздействию спецфакторов в виде радиационных излучений; возможность передачи сигнала управления через трансформатор гальванической развязки (ТГР) различными способами: на частоте управляющего сигнала, на высокой несущей частоте, по фронтам управляющего сигнала; возможность работы ТГР в широком диапазоне температур, влажности и атмосферного давления.

Не смотря на указанные достоинства ТГР, ей присуще следующие недостатки: возможность работы только на переменном напряжении, что усложняет схему драйвера; увеличенные массогабаритные параметры при работе на низкой частоте, что существенно снижает удельную мощность драйвера; низкая технологичность изготовления моточных малогабаритных ТГР, плохо поддающихся миниатюризации; наличие неизбежных паразитных параметров в виде индуктивности рассеяния обмоток и межобмоточной емкости, может приводить к сбою процессов переключения драйвера и силовых транзисторных ключей; существенное негативное влияние эффекта  $du/dt$  на процессы переключения из-за прохождения синфазной помехи через паразитную межобмоточную емкость, что может приводить к возникновению сквозных токов второго рода в мостовых и полумостовых схемах.

В связи с недостатками трансформаторной гальванической развязкой, для проектирования работоспособного драйвера принципиально необходимо учитывать основные проблемы проектирования таких драйверов:

1. Необходимость создания на первичной обмотке ТГР переменного напряжения, которое посредством электромагнитного поля через потенциально-изолирующий барьер передается с помощью сердечника на вторичную обмотку.
2. Необходимость исключения негативного влияния индуктивности рассеяния обмоток трансформатора гальванической развязки на процессы переключения драйвера.
3. Необходимость исключения негативного влияния межобмоточной емкости трансформатора гальванической развязки на процессы переключения драйвера.
4. Необходимость исключения негативного влияния эффекта  $du/dt$  на процессы переключения драйвера.

Синтезированы принципиальные электрические схемы драйверов, обеспечивающие их работоспособность при наличии неизбежных паразитных параметров ТГР и их устойчивость к эффекту  $du/dt$ .

С помощью ИКМ в системе Orcad 9.2 исследованы процессы переключения драйвера при управлении, как одиночными СТК, так и СТК в составе полумостовых схем, и подтверждена работоспособность предложенных схемотехнических решений.

## **Подготовка обучающего массива данных для автоматизации проектирования поковок с помощью нейронных сетей**

Преображенский Е.В., Квашнин В.М., Маркелов Е.Е., Галкин В.И.  
МАИ, г. Москва, Россия

Автоматизация этапов технологической подготовки производства является одной из тех актуальных задач, решение которых позволяет не только увеличить производительность процессов, но и повысить качество выпускаемой продукции. Это относится и к получению изделий с помощью горячей объемной штамповки – широко применяемому способу изготовления деталей в авиационной и космической отрасли. Однако при разработке технологического процесса штамповки технологу среди прочего требуется выполнить трудоемкую операцию – спроектировать форму поковки, а также соответствующий ей ручей штампа. Данная задача является итерационной, поскольку помимо необходимости следовать нормативным документам и учитывать имеющиеся справочные рекомендации, требуется вносить корректировки по получаемым при проверке результатам моделирования. Следовательно, разработка программного обеспечения по автоматизации процесса проектирования штамповой оснастки является крайне востребованной. В том числе, данную задачу можно решить с помощью нейронных сетей.

В последние несколько лет наблюдается стремительный прогресс в области искусственного интеллекта. Появление рекуррентных, многослойных, сверточных нейронных сетей, а также языковых моделей позволили существенно ускорить обработку информации и практически заменить человека во многих профессиональных видах деятельности. Однако при проектировании штампов работа с нейронными сетями затруднена: возникают сложности в интерпретации элементов чертежа, в обеспечении соответствия со стандартами, а также в получении достаточных исходных данных для обучения – предприятия, выполняющие штамповку, не стремятся делиться технологией и разработанными чертежами поковок. В связи с этим разработано специальное программное обеспечение, которое позволяет по геометрии исходной детали спроектировать ручей штампа. В основе алгоритма лежат правила создания формы поковок из ГОСТ 7505.

Разработанное приложение позволяет эффективно получить обучающий массив данных с достаточным объемом исходной информации, необходимым для использования в нейронных сетях. После обучения нейронная сеть потенциально сможет проектировать форму поковки по чистой детали так, что будут обеспечены требования по износостойкости инструмента, отсутствию штамповочных дефектов, высокому коэффициенту использования материала. Таким образом, приложение позволит совместно с повышением качества продукции снизить ее себестоимость.

## **Способ решения задач ближней навигации и инструментальной посадки винтокрылых летательных аппаратов на основе разностно-дальномерного метода**

Прядкин С.П., Бельский А.Б., Чобан В.М., Прядкин С.П.  
АО «НЦВ Миль и Камов», п. Томилино, Россия

Известен доплеровский разностно-дальномерный способ определения координат объектов и составляющих вектора скорости по навигационным радиосигналам, основанный на измерениях разностей топоцентрических расстояний (дальностей) между объектом и четырьмя РМ [1-2]. Недостатком этого способа являются: дискретность навигационных сеансов, низкая точность определения координат местоположения и составляющих вектора скорости в целом.

В основу предлагаемого способа положено знание пользователями радионавигационной системы размещения радиомаяков друг относительно друга (векторов баз их фазовых центров антенн). Способ позволяет получить непрерывное навигационное решение с точностью достаточной для выполнения инструментальной посадки ВКЛА по категории Шс в автоматическом режиме, а также отказаться от использования глобальной навигационной спутниковой системы. Достигаемым техническим результатом предлагаемого способа является повышение точности определения координат объекта на 30÷50% в зависимости от диапазона несущей частоты радиосигнала, а также снижении стоимости, массогабаритных и

энергетических характеристик. Предлагается для аппаратурной реализации системы на борту (бортовой терминал) использовать широкополосную радиолинию связи и доработать ее функциональное программное обеспечение по технологии SoftRadio. В качестве наземного терминала предполагается использовать 4 передающих антенно-электронных блока (АЭБ играют роль РМ) с 2 модулями цифровой обработки сигналов (ЦОС) для передачи радиосигнала с кодовым разделением каналов (каждый канал на своем АЭБ). Это не повлияет на штатную работу ШРС. Наземный терминал (АЭБ) устанавливается в окрестности (по периметру) посадочной площадки. Каждый радиомаяк непрерывно передает собственные навигационные сообщения, содержащие информацию, на основе которой на объекте осуществляются измерения и расчеты, необходимые для решения навигационной задачи.

Способ позволяет вертолету определять трехмерные координаты и полный вектор скорости относительно опорного АЭБ, когда в зоне радиовидимости находятся четыре и более разнесенных радиомаяка (РМ) – источников радиоизлучения. Способ заключается в том, что параллельно во времени принимают сигналы РМ и из принятых радиосигналов выделяют разности дальностей и доплеровские скорости до каждого РМ. Считаются заданными  $N$  векторов-баз, характеризующих размещение РМ и соединяющих вектора положения фазовых центров антенн РМ. Переходя к взаимному базису, строящемуся на основе симплекса РМ, упрощают и разрешают систему навигационных уравнений, путем решения квадратного уравнения определяют дальность, а затем координаты местоположения и вектор скорости. Точное решение определяется за один шаг.

Повышение точности достигается: за счет получения решения навигационной задачи в векторном поле, при этом исключаются источники погрешностей навигационных определений, обусловленные геометрическим фактором, а также за счет комбинированного алгоритма решения навигационной задачи, при котором совместно решается задача определения вектора положения и вектора путевой скорости объекта.

Литература:

1. Барабанов О.О., Барабанова Л.П. Математические задачи дальномерной навигации. – М.: Физмат лит, 2007, С.272.
2. Поваляев А.А. Спутниковые радионавигационные системы: время, показания часов, формирование измерений и определение относительных координат. –М.: Радиотехника, 2008, С.357.

### **Разработка интернет-сервиса учёта и сопровождения портфолио проектов**

Рахманин А.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

Ежедневно в нашем мире множество людей стремятся развиваться в научной сфере, совершать открытия и делиться своими достижениями. Научное сообщество регулярно пополняется различными статьями, докладами и исследованиями. В связи с этим, актуальным будет создание общего сервиса для размещения и сопровождения публикаций и проектов в научной тематике.

Актуальность работы выражается в нескольких пунктах:

1. Рост научной активности: в современном мире наблюдается увеличение научной активности как в академической среде, так и в корпоративном секторе. Больше исследований и проектов создают необходимость в эффективном учете и управлении ими.
2. Необходимость в эффективной управленческой деятельности: Научные проекты часто требуют крупных инвестиций, и, следовательно, эффективное управление ими становится ключевым фактором успешного завершения проекта.
3. Прозрачность и отчетность: в научной среде важно иметь прозрачные механизмы отчетности и учета результатов исследований для научных организаций, университетов, грантодателей и государственных органов.
4. Содействие инновациям: Учет и анализ научных проектов позволяют выявлять области, в которых нужно сосредоточить усилия, способствуя тем самым развитию инноваций и научных открытий.

5. Академическая конкуренция: в условиях жесткой конкуренции в научном мире, эффективное управление проектами и научными достижениями становится неотъемлемой частью успеха ученых и научных организаций.

Основной проблематикой работы является тенденция на российском рынке к появлению отечественных аналогов западных сервисов. Необходимость создания качественной полноценной площадки для взаимодействия с научными работами повышает актуальность данного проекта.

Сервис должен обладать следующим набором функционала:

- Возможность публикации научных работ и их дальнейшее отслеживание.
- Возможность формировать отчеты в удобных форматах данных на основе публикаций.
- Социальное взаимодействие между пользователями: участники могут объединяться друг с другом, добавляя в научные сообщества и указывая других пользователей в качестве соавторов.

Сервис должен иметь фидбек-систему: пользователи могут оставлять отзывы и комментарии на работы других людей.

Сервис должен предоставлять проработанную систему публикации и отправки работ на различные научные мероприятия.

В итоге, описанный интернет-сервис позволит пользователям иметь качественный отечественный продукт, представляющий собой проработанную веб-площадку для научного сообщества. Это предоставит людям возможность публиковать и контролировать свои научные проекты, облегчит путь от публикации до аккредитации работы, что в совокупности привлечет новых пользователей в сферу научной деятельности.

## **OpenTelemetry как стандарт для отлаживания и мониторинга высоконагруженных систем**

Рябиков А.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

Переход от логирования и метрик к трейсингу – это эволюция в мире мониторинга и отладки программного обеспечения. В течение многих лет разработчики полагались на логи и метрики для обнаружения и исправления проблемных ситуаций в своих приложениях. Однако с появлением сложных и распределенных систем, требующих более детального анализа и понимания, эти методы оказались недостаточными.

Трейсинг пришел на смену стандартным методам мониторинга, предоставляя более глубокое понимание того, как выполняется каждый запрос или транзакция в системе. Он позволяет увидеть весь путь, который запрос проходит через приложение, начиная с его входа и заканчивая выходом. Это включает информацию о времени исполнения, вызовах различных сервисов и их зависимостях, а также проблемных участках кода.

Одним из главных преимуществ трейсинга является возможность более быстрого обнаружения и устранения проблем. Благодаря точной трассировке запросов можно идентифицировать и анализировать узкие места в приложении, оптимизировать его производительность и улучшить пользовательский опыт. Кроме того, трейсинг позволяет установить связи между различными событиями и запросами в распределенных системах. Это особенно важно для отладки и расследования проблем, связанных с межсервисными взаимодействиями.

На текущий момент существуют стандарты OpenTracing и OpenTelemetry. Отличительной чертой нового стандарта OpenTelemetry являются установленные общие нормы экспорта метрик и трейсинга в приложениях. Это позволяет собирать данные из различных платформ и сохранять их в распределенной среде. Кроме того, OpenTelemetry обеспечивает возможность визуализации данных с использованием таких популярных бэкендов и дашбордов, как Datadog, Jaeger, Elastic/Kibana и Application Insights. Существует поддержка нескольких языков программирования и платформ, что позволяет разработчикам легко инструментировать свои приложения. Стандартный метод добавления инструментов в код

также предоставляется, что позволяет разработчикам собирать соответствующие данные телеметрии, не создавая отдельный код для каждого инструмента наблюдения.

### **Сравнительные оценки точности видеонавигации по привязке изображений к местности и одометрической видеонавигации**

Сазонова Т.В., Шелагурова М.С.  
АО «РПКБ», г. Раменское, Россия

В работе приведены результаты сравнительной оценки точности двух методов видеонавигации летательных аппаратов (ЛА). Первый метод "по привязке изображений к местности" основан на сравнении полученного видеоизображения с камеры и синтезированного изображения, сформированного по фотоснимкам местности, карте рельефа и текущим навигационным параметрам (широта, долгота, высота, курс, крен, тангаж ЛА). Второй метод "одометрический" основан на сравнении двух последовательно полученных во времени видеоизображений с камеры. Оба метода используют один и тот же подход, основанный на выделении на опорном и текущем видеоизображениях характерных точек (ХТ) и их сопоставлении. Опорным видеоизображением для первого метода является синтезированное изображение, для второго метода – ранее полученное видеоизображение с камеры. Особенностью предлагаемого подхода к определению поправок к навигационным параметрам является вычисление географических координат ХТ на основе знания для опорного изображения матрицы наблюдателя, экранных координат ХТ и карты рельефа. Определив географические координаты ХТ и зная их экранные координаты на текущем видеоизображении, путем решения нелинейной системы уравнений методом Гаусса-Ньютона при условии, что число ХТ более 3-х, можно найти поправки к текущим навигационным параметрам.

Исследования точностных характеристик вышеуказанных методов проводились на стенде полунатурного моделирования (ПНМ) с использованием одноплатного модуля NVIDIA Jetson TX2, установленного на эталонной несущей плате Mini-ITX. Для обеспечения динамики движения ЛА, показаний инерциальной навигационной системы (ИНС) и формирования изображений с камеры использовался персональный компьютер (ПК), установленный на стенде ПНМ. Размер кадра камеры задавался 3200x2400, поле зрения  $20^\circ \times 15^\circ$ .

Изображение с камеры поступало по интерфейсу Ethernet в модуль NVIDIA Jetson TX2. Каждое изображение сопровождалось информацией о навигационных параметрах (широта, долгота, высота и углы эволюции), полученных от ИНС.

При исследованиях на экране ПК задавались следующие характеристики полета ЛА:

- высота ЛА над поверхностью – 500 м;
- скорость ЛА – 65 м/с.

Также имелась возможность введения отклонений навигационных параметров в показаниях ИНС от истинного положения.

Выходом работы алгоритмов видеонавигации являлись поправки к навигационным параметрам ИНС.

Результаты моделирования показали, что предложенные методы и алгоритмы реализуемы на борту ЛА в реальном масштабе времени.

Потенциальная точность метода "по привязке изображений к местности" оценивается величиной порядка 5-12 м по широте и долготе, 4-7 м по высоте,  $0,1^\circ - 0,3^\circ$  по крену и тангажу,  $0,03^\circ - 0,1^\circ$  по курсу, однако формирование достоверных поправок производится достаточно редко.

Достоверные поправки к навигационным параметрам при одометрической видеонавигации формируются практически на каждом шаге, однако их погрешность растет со временем наблюдения и может достигать сотни метров (по координатам).

Поэтому целесообразно использовать комплексирование методов видеонавигации по привязке изображений к местности и одометрической видеонавигации.

## **Разработка системы оценки электронного тестирования авиационных специалистов по английскому языку в соответствии с требованиями ИКАО**

Следков М.Ю., Викулин М.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Согласно действующему стандарту Международной организации гражданской авиации (ИКАО), авиационные специалисты, выполняющие полёты в гражданской авиации, для которых английский язык не является родным, должны продемонстрировать языковую компетенцию в соответствии со шкалой ИКАО, определяющей уровень владения авиационным английским языком. Все авиационные специалисты должны владеть английским языком во всех аспектах, необходимых для эффективной коммуникации между пилотами и диспетчерами, на уровне не ниже четвёртого по шкале ИКАО.

В процессе реализации информационной системы, позволяющей произвести оценку знаний авиационных специалистов для определения уровня по шкале ИКАО, одним из актуальных вопросов является организация объективного процесса выставления оценок за часть «speaking», в ходе которой происходит непосредственное взаимодействия экзаменатора и экзаменуемого.

Система оценки организована в три этапа и содержит систему критериев. В первом этапе оценки выставляет репитер-экзаменатор, который проводил экзамен. Во втором этапе оценки выставляет репитер, который не присутствовал на экзамене, на основе аудиозаписи экзамена. Третий этап является опциональным и проводится в случае, если возникает конфликт оценок у первого и второго репитера. В рамках этого этапа оценки выставляет третий репитер и итоговый результат определяется его оценками.

Все репитеры выставляют оценки по шкале ИКАО от 1 до 6 по каждому из критериев: произношение, структуры, словарный запас, беглость речи, понимание и общение. Итоговая оценка соответствует минимальному баллу среди критериев.

В системе электронного тестирования организован процесс выставления всех оценок по описанной логике. После проведения экзамена в системе экзаменатор загружает аудиозапись экзамена в сервисе «Тестирование», после чего становится доступным процесс выставления оценок первого и второго этапа. Репитеры могут выставлять оценки независимо друг от друга. Система организована таким образом, что репитеры не видят оценки друг друга, что позволяет повысить объективность оценки.

Конфликт оценок репитеров определяется системой автоматически. При возникновении конфликта администраторам приходит уведомление о необходимости назначить третьего репитера. После назначения в личном кабинете репитера открывается возможность выставить оценки.

По результатам выставления оценок репитерами администратор может распечатать отчёт каждого репитера для поддержания системы документооборота, а по окончании процесса оценки и определения уровня по шкале ИКАО системой автоматически генерируется сертификат с номером протокола, который администратор распечатывает и после подписания выдаёт авиационному специалисту.

Разработанная система оценки электронного тестирования авиационных специалистов по английскому языку в соответствии с требованиями ИКАО уже прошла апробацию, внедрена и успешно используется авиационным учебным центром МАИ, а также региональными авиационными учебными центрами, использующими тест RELTA-МАИ.

1. Викулин М.А., Хорошко Л.Л. Разработка системы электронного тестирования авиационных специалистов по английскому языку в соответствии с требованиями ИКАО. 17-я Международная конференция «Авиация и космонавтика»: Сборник тезисов докладов: М.: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2018.

2. Стародубцева Татьяна Александровна Параметры оценки уровня иноязычной компетентности курсантов авиационного вуза // БГЖ. 2016. №3 (16).

## **Аналитическая оценка возможности применения технологии LSO в WEB-SCADA-системах**

Смирнов А.С., Звонарёва Г.А.  
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время для решения вопросов мониторинга и управления технологическими процессами используются системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA). Подобные системы осуществляют сбор, обработку, отображение и хранение измеренных данных. В последние годы веб-технологии получили широкое распространение, в том числе затронув SCADA-системы.

Рассматриваемая система является WEB-SCADA-системой и разрабатывается на основе имеющегося программного обеспечения предприятия и веб-технологий. Данная система работает в рамках локальной сети предприятия. Система представляет собой клиент-серверное приложение, разделенное на множество программных модулей.

Одним из таких модулей является сервис отображения измеренных данных. На стороне сервера организовано получение измеренных данных и их отправка клиенту. На стороне клиента осуществляется визуализация измеренных данных в виде графиков.

Одной из задач данного сервиса является частая отправка новых порций данных между сервером и клиентом. Для ее решения в качестве одной из технологий передачи данных был выбран протокол WebSocket. Данный протокол позволяет организовать постоянное двунаправленное соединение между клиентом и сервером. Протокол WebSocket работает поверх протокола TCP в сетевой модели TCP/IP.

Для решения поставленной задачи особое внимание уделяется времени передачи пакета от сервера к клиенту. Необходимо сократить это время для отображения графиков в режиме реального времени на стороне клиента. С этой целью проводилось исследование улучшений протокола TCP, одним из которых является технология large send offload (LSO).

LSO позволяет передавать по стеку TCP/IP пакеты, размер которых превышает MTU, а функцию разбиения переложить на драйвер и процессор сетевой карты. Данный подход должен предоставить выигрыш во времени формирования пакетов в стеке TCP/IP и организации операций ввода/вывода. Однако это накладывает дополнительную нагрузку на сетевую карту [1].

В докладе рассматривается возможность применения технологии LSO в сервисе отображения измеренных данных разрабатываемой WEB-SCADA-системы. А именно особенности работы технологии LSO; временные характеристики передачи данных между клиентом и сервером; зависимость временных характеристик от объема передаваемых данных.

Литература:

1. Mohamed Elbeshti, Design of a scalable network interface to support enhanced TCP and UDP processing for high-speed networks, Murdoch University, 2014.

## **Разработка алгоритма измерения электрофизических параметров полупроводниковых пластин сверхбольших интегральных схем**

Смирнов К.К., Назаров А.В., Андреев Д.А., Хамраев А.А.  
МАИ, г. Москва, Россия

В докладе рассмотрен этап измерения электрофизических параметров при изготовлении кристаллов на кремниевых пластинах. Рассматривается параметрический монитор кристалла, а также его тестовые структуры, и параметры, которые на них измеряются, различные методы измерений, применяемые на производстве, анализируются наиболее существенные недостатки применяемого в данный момент метода измерений. Представлен принципиально новый подход к электрофизическим измерениям. Разработан аппаратно-программный комплекс для измерения электрофизических параметров, позволяющий автоматизировать процесс измерений и существенно сократить время измерений.

Предложенный аппаратно-программный комплекс позволяет анализировать интересные для технолога параметры измерений в реальном времени, точнее прослеживать

брак на предыдущих операциях производства СБИС, а также предусматривает более удобную файловую структуру данных измерений [1].

Эффективность предложенного комплекса рассмотрено на примере сравнения времени, затраченного на измерения одной и той же пластины с использованием программы, разработанной по предложенной методике и программы, разработанной в системе Keysight VEE.

[1] Смирнов К.К., Назаров А.В. Аппаратно-программный комплекс автоматизации функционального контроля сверхбольших интегральных схем. Электросвязь, №12. 2017. С.70-76.

### **Разработка эффективного метода обработки и хранения метеорологических данных**

Смирнов М.А.

МАИ, г. Москва, Россия

За более чем 50 лет был накоплен огромный объем метеорологических данных. Большинство данных хранятся в отдельных файлах в символьном (в ASCII) или бинарном (GRIB, NetCDF) форматах, чтобы обеспечить долговременное хранение вне зависимости от используемого технического носителя, операционной системы и СУБД [1]. Подход удобен для обмена научных данных в рамках международного сотрудничества. Например, его использует немецкая метеорологическая служба [2]. Однако, это порождает хаос в данных, что усложняет их анализ и ведет к низкой производительности.

Несмотря на объем и значимость метеоданных, пока существует не так много исследований, нацеленных на реализацию их эффективного хранения и обработки. Описанные в статьях [3, 4] методы больше нацелены на эффективность операционной деятельности. В отличие от них, разрабатываемый метод хранения будет оптимизирован для выполнения аналитических запросов.

Например, для оценки климатических тенденций приходится обращаться к данным на небольшой области или в точке за многолетний период. Традиционно данные одного вида группируются по датам и барическим уровням, поэтому для ответа на запрос необходимо прочитать все файлы.

Все метеоданные имеют привязку к пространству, и большинство из них привязаны ко времени, но в одних случаях более значимо время, а в других пространство. Так, для данных наблюдений за 20 лет в нескольких сотнях станций (точках), будет важнее время и их удобно хранить в базе данных для временных рядов. С другой стороны, для данных со спутника за одну неделю, определенные на сетке с мелким шагом, может быть эффективно хранить в пространственной базе данных.

В исследовании было оценено время вставки данных и выполнения запросов для разных СУБД на данных разных типов, полученных из открытых источников. Как и ожидалось, использование подходящей СУБД может сократить время выполнения операций в разы.

Литература:

1. Вязилов Е. Д., Мельников Д. А., Чунаев Н. В. ИТ в гидрометеорологии: от систем сбора до аналитики и принятия решений. – 2015.

2. Спутниковые данные немецкой метеорологической службы о радиации [Электронный ресурс] // URL: <https://opendata.dwd.de/weather/satellite/radiation/sid/> (дата обращения: 10.10.2023).

3. Yang M. et al. An efficient storage and service method for multi-source merging meteorological big data in cloud environment //EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. – 2019. – Т. 2019. – №. 1. – С. 1-12.

4. Kivachuk Burd V., Zamo M. NetCDF: Performance and storage optimization of meteorological data //EGU General Assembly Conference Abstracts. – 2020. – С. 21549.

## **Исследование локальных токонесущих характеристик ВТСП лент в сильном магнитном поле**

Стариковский А.С., Покровский С.В., Руднев И.А.  
НИЯУ МИФИ, г. Москва, Россия

В данной работе представлены результаты исследований, локальных магнитных и токонесущих характеристик ВТСП лент в магнитном поле до 1.5 Тл. Измерения магнитного поля образца в магнитном поле было выполнено методом холловской магнитометрии. Измерения проводились в среде жидкого азота. Было исследовано поведение образцов как в однородном внешнем поле сверхпроводящего магнита, так и в градиентном поле постоянных магнитов. Проведены измерения магнитного поля образцов с различной однородностью критического тока, а также с искусственными повреждениями ленты с характерными размерами 0.1 x 5 мм в поле. Была показана возможность детектирования магнитного отклика ВТСП ленты на фоне магнитного поля до 1.5 Тл, а также качественного определения области локализации дефектов в ВТСП ленте.

Помимо экспериментального исследования было проведено моделирование однородной и поврежденной ВТСП ленты во внешнем магнитном поле в среде ComsolMultiphysics. Расчеты выполнялись с использованием Н-формализма. Свойства сверхпроводника задавались с помощью вольтамперной характеристики в виде степенного закона. Зависимость критического тока от магнитного поля учитывалась в рамках модели Кима, а также в двухэкспоненциальной модели [1]. Сравнение результатов эксперимента с расчетными данными позволил проанализировать влияние повреждений на локальные токонесущие свойства сверхпроводника в магнитном поле, более точно локализовать области токовых неоднородностей.

На основе сравнения результатов эксперимента и расчета для случая однородной и неоднородной ВТСП лент был сделан основной вывод о возможности применения методики холловской магнитометрии для обнаружения факта наличия локальных токовых неоднородностей в сверхпроводящих лентах в магнитных полях до 1.5 Тл. Однако для получения информации о точном нахождении дефектов необходимо развитие методов анализа картины распределения поля и соответствующего математического аппарата восстановления локального распределения тока по распределению магнитного поля образца.

Работа выполнена при финансировании ОИЯИ по программе поддержки в рамках коллаборации "Ариадна".

Литература:

1. Подливаев А. И., Руднев И. А., Шабанова Н. П. Магнитополевая зависимость локальной плотности критического тока в ВТСП лентах второго поколения //Краткие сообщения по физике Физического института им. ПН Лебедева Российской Академии Наук. – 2014. – Т. 41. – №. 12. – С. 13-18.

## **Аспекты разработки элементов программно-аппаратного комплекса управления бортовым антенно-фидерным устройством высокоскоростной радиолинии**

Страхов Р.Д., Шевченко М.И.  
МАИ, г. Москва, Россия

В рамках данной работы решаются задачи по разработке элементов программно-аппаратного комплекса, предназначенного для проведения испытаний бортового антенно-фидерного устройства (АФУ) высокоскоростной радиолинии.

В состав данного комплекса, помимо самого АФУ, входят блок управления (БУ) и ПО оператора. БУ содержит необходимые для управления электромеханическими приводами (ЭМП) АФУ аппаратные компоненты, а также управляющее ПО. Приложение оператора позволяет отправлять различные команды блоку управления через графический интерфейс пользователя (GUI). Структура и особенности передачи этих команд определены в специально разработанном протоколе.

ПО оператора состоит из следующих компонентов:

- View – реализация графического интерфейса пользователя.

- UartController – отвечает за взаимодействие приложения (отправка управляющих команд, а также прием ответных сообщений) с блоком управления.
- VoltageController – регулирует значения напряжений двигателей и датчиков в соответствии с настройками пользователя.
- DriveTester – осуществляет тестирование АФУ по определенному сценарию.
- AntennaViewingSystem (AVS) – графическая подсистема, отвечающая за отображение текущей ориентации АФУ в пространстве.
- LoggingSystem – отвечает за логирование.
- Core – выполняет функции контроллера, обеспечивает корректное взаимодействие остальных компонентов системы.

В качестве основных технологий, применяемых при разработке комплекса, были выбраны язык программирования C++ (C++17), фреймворк Qt, декларативный язык программирования QML, а также OpenGL, используемый для реализации AVS.

На данный момент разрабатываемый программно-аппаратный комплекс содержит основной функционал, необходимый для проведения испытаний приводов АФУ.

Основные направления развития проекта:

- Доработка графической подсистемы (по результатам интеграции AVS в основное решение была выявлена необходимость в частичном перепроектировании подсистемы).
- Улучшение качества изображений, производимых графической подсистемой.
- Разработка вспомогательного ПО, эмулирующего работу БУ (значительную часть времени разработки ПО оператора блок управления недоступен для использования).
- Добавление различных сценариев тестирования приводов АФУ.
- Визуализация данных телеметрии, таких как температура и напряжение, на графиках.

Литература:

1. Qt Documentation | Home [Электронный ресурс]. URL: <https://doc.qt.io/> (дата обращения: 16.10.2023);
2. Документация по языку C++ [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/cpp/?view=msvc-160> (дата обращения: 14.10.2023);
3. Программирование с использованием OpenGL. All Documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://opengl.org.ru/docs/index.html> (дата обращения: 05.06.2023).

### **Численное моделирование переходных и установившихся режимов в работе импульсных преобразователей напряжений постоянного тока**

<sup>1</sup>Сухомлинов Г.Л., <sup>1</sup>Тарасов Д.Ю., <sup>2</sup>Михайлов В.В.

<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Технологический университет им. А.А. Леонова, г. Королев, Россия

В исследовательских работах, связанных с разработкой импульсных преобразователей напряжения постоянного тока, широкое применение получили подходы, основанные на использовании программного комплекса MATLAB/Simulink [1]. В то же время востребованным остаётся направление, связанное с развитием более простых вычислительных инструментов, на которые можно опираться при проведении конкретных расчётных исследований и для подтверждения достоверности получаемых на основе указанных программных комплексов результатов. Представлено описание одного из подобного типа расчётных инструментов, основанного на методе численного интегрирования и предназначенного для исследования переходных и установившихся режимов в работе обсуждаемых преобразователей.

Для систем дифференциальных уравнений, описывающих динамику импульсных преобразователей, характерно наличие особенностей, связанных со скачкообразным изменением параметров, инициируемых переключениями, которые осуществляются ШИМ с заданной тактовой частотой. Одним из подходов к расчётному исследованию переходных режимов в работе подобных объектов является использование методов численного интегрирования. Здесь могут быть применены высокоточные схемы интегрирования типа Рунге-Кутты. Такие схемы позволяют обеспечивать необходимую вычислительную точность при выборе достаточно крупного шага интегрирования. Однако при решении обсуждаемого

типа задач шаг необходимо мельчить, чтобы получить подробную картину колебаний значений исследуемых токов и напряжений на каждом из тактовых периодов. Эффективным в условиях выбора мелкого шага способом численного решения задач динамики с разрывными особенностями является (см., например, [2,3]) использование при интегрировании безусловно устойчивой в вычислительном отношении неявной схемы Эйлера.

Рассмотрим понижающий преобразователь. Соответствующие уравнения динамики такого преобразователя могут быть представлены в виде (см., например, [4]).

Численное решение системы дифференциальных уравнений осуществляем с использованием неявной схемы Эйлера. Считая шаг интегрирования по времени достаточно малым.

Надёжность результатов, получаемых с использованием разработанной программы, была подтверждена путём сравнения с представленными в статье [1] результатами компьютерного моделирования и физического эксперимента, переходного и установившегося режимов в работе преобразователя.

Численным моделированием получены результаты протекания переходных процессов по напряжению нагрузки и по току в дросселе, и выхода на установившийся режим.

Анализ полученных результатов показывает, что установившиеся значения напряжения нагрузки и тока в дросселе соответствуют требованиям, предъявляемым к разрабатываемым уникальным преобразователям.

Литература:

1. Kaur R., Kaur N. Mathematical modelling of buck converter // International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication ISSN: 2321-8169. - 2014. - V. 2. - №5. - P. 1226-1229.

2. Сухомлинов Г.Л. Вычислительная модель для исследования вынужденных колебаний упругих систем при больших значениях сил трения // Известия вузов. Машиностроение. - 2002. - №4. - С. 7-14.

3. Сухомлинов Г.Л., Михайлова В.Л. Численное моделирование фрикционных автоколебаний релаксационного типа в следящем электроприводе // Известия вузов. Машиностроение. - 2004. - №6. - С. 20-28.

4. Коршунов А.И. Методика построения непрерывных моделей импульсных преобразователей напряжения постоянного тока // Компоненты и технологии. - 2006. - №8. - С. 1-15.

## **Сравнительный анализ протоколов авторизации в интернет-сервисах**

Сысоев С.А., Кейно П.П.

МАИ, г. Москва, Россия

В современном цифровом мире обеспечение безопасности и удобства авторизации пользователей в интернет-сервисах имеет высший приоритет. Протоколы авторизации играют важную роль в обеспечении этой задачи, позволяя пользователям аутентифицироваться и управлять доступом к ресурсам. В этом докладе представлен сравнительный анализ нескольких ключевых протоколов авторизации, а именно OpenID Connect, OAuth 2.0 и SAML, с акцентом на их преимуществах и ограничениях.

Протокол OpenID Connect комбинирует аутентификацию и авторизацию, обеспечивая удобство для конечных пользователей и разработчиков. Основывается на технологии OAuth 2.0 и JSON Web Tokens (JWT).

Протокол OAuth 2.0 ориентирован на авторизацию и используется для предоставления доступа третьим лицам к ресурсам от имени пользователя. Отличается от OpenID Connect тем, что включает только процесс авторизации.

Протокол SAML (Security Assertion Markup Language) используется для обмена утверждениями безопасности между идентификационными и сервис-поставщиками. Часто применяется в корпоративных средах, но не так гибок в области безопасности.

OpenID Connect и OAuth 2.0 легко масштабируются благодаря использованию токенов. SAML может потребовать дополнительных настроек для масштабирования.

Важно отметить, что выбор протокола также зависит от требований к соблюдению российского законодательства. Например, Федерального закона о персональных данных или других нормативно-правовых актов, регулирующих сферу информационной безопасности в РФ. Каждый протокол может иметь свои особенности и требования с учетом действующего законодательства РФ.

Сравнительный анализ протоколов авторизации представляет собой важное рассмотрение для разработчиков интернет-сервисов и архитекторов информационных систем. Он помогает определить, какой протокол наилучшим образом подходит для конкретных потребностей и обеспечивает безопасность и удобство пользователей.

### **Кворум-элемент для определения параметрического отказа курсовертикалей**

Тектов М.В., Земляный Е.С.

АО «РПКБ», г. Раменское, Россия

Комплекс бортового оборудования летательного аппарата (КБО ЛА) решает различные задачи, одной из которых является задача резервирования. [1] Резервирование по принципу голосования – это один из способов повышения надежности, который основан на применении дополнительного логического блока, называемого кворум-элементом.

Алгоритмы для резервирования и контроля систем с помощью кворум-элементов определяют неисправный канал и меняют его на исправный при несовпадении сравниваемых сигналов [2].

Общая организация кворум-элемента заключается в следующем:

- Осуществляется измерение углов ориентации (крена и тангажа) одновременно от трех курсовертикалей.

- Измеренные значения углов ориентации поступают в кворум-элемент, производится попарное сравнение параметров между собой.

- По результатам сравнения осуществляется определение состояния кворум-элемента для каждого параметра.

Подобная система контроля, основанная на «голосовании большинством», позволяет отслеживать соответствие входных сигналов на протяжении всего полета. [3]

Кворум-элемент анализирует показания трех датчиков, сравнения их попарно между собой, получая разницы  $\Delta X_1$ ,  $\Delta X_2$ ,  $\Delta X_3$ . Далее каждая разница  $\Delta X$  сравнивается с установленным допуском. В зависимости от того, какие  $\Delta X$  находятся в допуске, возможны 4 различных случая (группы решений) при работе кворум-элемента (см. таблицу 1):

1) результат всех трех сравнений меньше заданной разницы, все датчики в норме;

2) результат двух из трех сравнений больше заданной разницы, то есть разницы одного из датчиков с двумя другими не в допуске, фиксируется параметрический отказ советующего датчика;

3) результат одного из трех сравнений не удовлетворяет заданной разнице, то есть разницы одного из датчиков между двумя другими в допуске, неопределенное состояние, фиксируется «Снижение точности»;

4) результат всех трех сравнений больше заданной разницы, все системы разошлись.

Предложенный алгоритм кворумирования был апробирован на полетных данных и может использоваться как для определения параметрического отказа систем, так и для выявления наиболее точной системы по результатам попарного сравнения с дальнейшей сигнализацией летчику о произошедшем, что повышает его ситуационную осведомленность и снижает нагрузку. Это справедливо не только для курсовертикалей, но и для любых дважды резервируемых систем и датчиков, которые проводят измерения одних и тех же параметров. Таким образом, на основе данного алгоритма можно построить эффективную мажоритарную систему резервирования.

## **Модификация бионической оптимизации методом муравьиных колоний для задач поиска рациональных решений параметрической задачи**

Титов Ю.П., Судаков В.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В современном мире параллельно развитию систем искусственного интеллекта, развиваются и бионические алгоритмы, алгоритмы, вдохновленные природой: генетический алгоритм, метод муравьиных колоний, метод бактерий, метод косяка рыб, метод пчелиного роя и др. Данные алгоритмы позволяют решать задачу поиска оптимально (рационального) решения путем добавления в процесс решения вероятностного выбора.

Данные алгоритмы сходятся к оптимальному решению, поэтому имеют проблемы стагнации при поиске многокритериальных решений или решений многоэкстремальных функций. Как и в методах оптимизации для поиска глобального минимума применяют процедуру мультистарта.

Предлагается модификация метода муравьиных колоний, позволяющая продолжить поиск других рациональных решений, с возможностью рассмотрения всех решений. Для такой задачи за остановку работы алгоритма отвечает пользователь, а метод муравьиных колоний перебирает варианты решения таким образом, чтобы все рациональные решения были рассмотрены на ранних итерациях алгоритма.

Для осуществления такого подхода используется параметрический граф. Путь в таком графе определяет конкретные значения параметров системы. Разработана новая вероятностная выбора значения вершины, основанная на аддитивной свертке количества феромона, количества посещений вершины и количества оставшихся решений для определенного значения критерия. Компенсация критериев позволяет эффективно работать алгоритму на различных стадиях поиска решений, избежать стагнации алгоритма на ранних итерациях из-за увеличения вероятности выбора вершин с минимальным количеством посещений, на стадии поиска оптимальных решений главным является количество феромонов, а третье слагаемое позволяет на последней стадии увеличивать вероятности выбора вершин, для которых осталось рассмотреть минимальное количество решений.

Для сохранения информации о значениях критерия все рассмотренные решения сохраняются в хэш-таблице. При работе такой системы с вычислителем, сложными инженерными программами, значение критериев берется из хэш-таблицы. Если значение есть в хэш-таблице, то данный путь был уже рассмотрен на графе и такой муравей называется «нулевым». Для «нулевых» муравьев рассмотрены различные алгоритмы поиска еще не рассмотренных решений, наилучшим, по результатам исследований, был выбран алгоритм ACO Cluster Cycle Infinity – ACOCCyI, позволяющий осуществить дальнейший поиск решений модифицированным методом муравьиных колоний.

Разработана система взаимодействия с вычислителем, проведены исследования и выработана структура оптимального параметрического графа, разработаны алгоритмы генерации параметрического графа, сокетного взаимодействия с вычислителем. В разработке системы многокритериального анализа, поиска множества Парето, визуализации решений, а также работа с непрерывными параметрическими задачами. Ведутся разработки асинхронного метода муравьиных колоний, позволяющего оптимизировать загрузку вычислителя и достичь 100% загрузки отправляя асинхронно муравьев по графу и изменяя значения феромона в вершинах.

1. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой. М.: изд-во МГТУ им. Баумана. 2-е изд., 2017, 446 с.

2. Dorigo, M., Stutzle, T.: Ant Colony Optimization //MIT Press, p. 321, 2004

3. Сеницын И. Н., Титов Ю. П. Управление наборами значений параметров системы методом муравьиных колоний. Автоматика и телемеханика. 2023. № 8. С. 153-168. DOI 10.31857/S000523102308010X

## **Исследование роли программного обеспечения в регулировании сложных взаимосвязей в 3D CAD**

Трофимова Е.И., Николаев П.Л.  
МАИ, г. Солнечногорск, Россия

В условиях быстрого развития технологий и увеличения сложности проектирования в 3D CAD, исследование роли программного обеспечения становится ключевым вопросом для обеспечения эффективности и точности в инженерной практике. Эта работа фокусируется на управлении сложными взаимосвязями, которые создаются между различными типами файлов, и подчеркивает важность программных решений в организации данных, управлении зависимостями и обеспечении целостности процесса проектирования в 3D среде.

ПО обеспечивает организацию и контроль сложных взаимосвязей между различными типами файлов, такими как детали, сборки и чертежи. Файл детали служит базовым строительным блоком, содержащим определение модели компонента. Сборка зависит от файлов деталей для правильного расположения, а чертеж использует их для создания видов и измерений. Однако ни сборка, ни чертеж не включают всю геометрию детали, и некоторые системы используют эширование данных, что может привести к риску устаревания информации.

Исследование роли программного обеспечения в регулировании сложных взаимосвязей в 3D CAD выявляет его критическое значение в современном инжиниринге. ПО активно участвует в организации и управлении файлами, обеспечивает эффективное версионирование и поддерживает жизненный цикл продукции. Ключевой функцией является управление зависимостями, позволяя автоматизировать обновления, минимизировать ошибки и обеспечивать консистентность данных.

Системы управления данными о продукции (PDM) гарантируют безопасность и контроль доступа, а совместная работа с применением комментариев и обратной связи улучшает коммуникацию внутри команды. Аналитика и отчетность позволяют отслеживать прогресс и принимать обоснованные решения. Интеграция с другими системами обеспечивает совместимость и эффективный обмен данными. Итак, исследование подчеркивает, что ПО в 3D CAD не только упрощает технические процессы, но и становится ключевым элементом успешного управления сложными взаимосвязями в современной инженерной практике.

Таким образом, можно сделать вывод, что программное обеспечение в управлении сложными взаимозависимостями в 3D CAD играет решающую роль в обеспечении эффективности и структурированности процессов проектирования и управления продукцией. Эффективное управление взаимосвязями и изменениями возможно только с использованием специализированного ПО для управления данными, такого как системы управления данными о продукции (PDM). Эти системы понимают структуры данных и обеспечивают контроль зависимостей между файлами, минимизируя риски ошибок и обеспечивая целостность проекта.

Литература:

1. Бачурин А.В., Интеграция PDM-системы TechnologiCS с CAD-системами. – CADmaster, №1(89)/2019.
2. "Why Does 3D CAD Need PDM?" Onshape [Электронный ресурс]. URL: <https://www.onshape.com/cad-blog/why-does-3d-cad-need-pdm> (дата обращения: 12.10.2023)
3. PDM система: особенности, преимущества, внедрение [Электронный ресурс]. URL: <https://lab-metr.ru/pdm-sistema-osobennosti-preimusestva-vnedrenie> (дата обращения: 12.10.2023)

### **Круглосуточное авиационное астровизирующее устройство**

Фирсов И.С., Сумерин В.В., Александров А.Б., Лазарев А.Ю.  
АО «РПЗ», г. Москва, Россия

В докладе представлены результаты разработки астровизирующего устройства, обеспечивающего определение высокоточной ориентации в инерциальной системе координат направлений осей чувствительности блока датчиков (лазерных гироскопов и акселерометров) бесплатформенной инерциальной системы (БИНС). Прибор гарантированно

работает по звездному небу без географических ограничений в любое время суток с борта самолета, летящего на высоте выше 8 км при отсутствии более высокой облачности. В темное время суток (ночь или астрономические сумерки) возможна работа без ограничений по высоте, включая наземные условия. Условия применения определили выбор конструкции прибора и алгоритмы его работы. Основные мешающие факторы при работе прибора:

- рассеянное солнечное излучение;
- прямое солнечное излучение при нахождении светила вблизи или в поле зрения объектива оптической головки (ОГ);
- случайные угловые эволюции носителя при визировании звезд.

В конструкции устройства использованы три оптических головки (ОГ), каждая ОГ находится за лейкоапфировым иллюминатором и состоит из бленды, полосового фильтра, объектива и фотоприемной КМОП-матрицы. Полное поле зрения одной ОГ ~100 кв.градуса. Для получения снимков звездного неба используется спектральный диапазон длин волн 0.7 ... 0.9 мкм.

Визирные оси ОГ направлены вверх под углами ~60° относительно друг друга. При таком расположении оптических головок и соответствующей конструкции бленд прямое солнечное излучение может попасть только в одну из них, а две другие выполняют синхронные измерения. Известно, что точность измерения угла поворота вокруг оптической оси ОГ намного хуже точности измерения углов ее наклона. Большой угол между визирными осями ОГ кроме устойчивости к солнечной засветке обеспечивает примерное равенство точности измерения всех углов.

Снижение влияния рассеянного солнечного излучения в приборе осуществляется путем накопления нескольких (многих) снимков одних и тех же участков звездного неба. Точное совмещение снимков в условиях угловых эволюций носителя обеспечивается с учетом дифференциальных сигналов лазерных гироскопов блока датчиков БИНС, конструктивно жестко связанного с блоком оптических головок.

Инструментальная точность определения положения визирных осей прибора в инерциальной системе координат 1-2 угл.с. без учета ошибок взаимной калибровки систем координат прибора и блока датчиков БИНС.

Общий вес прибора с блоком иллюминаторов 11 кг. Максимальное энергопотребление при температуре -60° – не более 200 Вт.

### **Применение машинного обучения для автоматизации процесса создания технических чертежей**

Харитonenков А.И., Гурева А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В современном мире информационные технологии не стоят на месте, особенно в инженерной деятельности, где ставятся задачи, которые имеют возрастающие требования к эффективности и точности в разработке и проектировании. С ростом сложности задач и увеличением объемов данных инженерам становится все труднее справляться с этой задачей вручную, так как особое внимание уделяется созданию технических чертежей, которые являются фундаментальной основой для воплощения инженерных решений в реальные объекты. Процесс создания технических чертежей представляет собой трудоемкую и ответственную задачу, которая, однако, в наше время приобретает новые перспективы с применением машинного обучения.

Цель научной статьи – представить перспективы и реальные результаты применения машинного обучения в автоматизации процесса создания технических чертежей, рассмотреть основные методы и алгоритмы, которые используются в данной области.

Искусственный интеллект активно развивается в последние десятилетия, находит свое практическое применение в инженерных и промышленных отраслях, революционизируя способы, которыми создаются и оптимизируются чертежи сложных систем и устройств. Применение машинного обучения в автоматизации процесса создания технических чертежей может значительно ускорить и упростить работу инженеров, снизить вероятность ошибок и

повысить качество проектов. Машинное обучение предлагает ряд методов и техник, которые могут значительно улучшить процесс создания технических чертежей:

1) Извлечение метаданных.

Автоматическое извлечение метаданных из чертежей, таких как размеры, масштаб, материалы и номера деталей.

2) Интерпретация чертежей и создание 3D-моделей.

Автоматическое создание трехмерных моделей на основе двухмерных чертежей.

3) Генерация чертежей и документации.

Искусственный интеллект может создавать автоматически технические чертежи и документацию на основе заданных параметров.

4) Автоматическая проверка на стандарты.

Проверка, которая проверяет соответствуют ли чертежи инженерным стандартам и требованиям.

5) Оптимизация чертежей.

Машинное обучение позволяет оптимизировать технические решения, предлагая варианты с учетом заданных параметров, таких как стоимость или вес. Это помогает инженерам быстрее находить оптимальные решения.

6) Обнаружение и классификация элементов.

Системы машинного обучения обучаются распознавать элементы на чертежах, такие как линии, формы и текст. Это позволяет автоматически классифицировать элементы и создавать соответствующие объекты на чертеже. Применение машинного обучения позволяет оптимизировать процесс создания чертежей, выявлять и устранять ошибки, автоматически адаптировать дизайн к изменяющимся параметрам и ускорять процесс принятия решений. Это также снижает риски человеческой ошибки и увеличивает качество конечных продуктов. Однако, несмотря на все преимущества, стоит помнить о важности подхода с участием человеческого фактора. Машинное обучение исключительно эффективно в том случае, когда оно используется совместно с профессиональным опытом и экспертизой инженеров и дизайнеров.

### **Метод формирования синтетических данных для обучения системы оценки качества сборки**

<sup>1</sup>Хомутская О.В., <sup>2</sup>Копылов Д.А., <sup>1</sup>Зайцев М.Д.

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>Сбербанк, г. Москва, Россия

Современные наборы изображений для обучения представляют собой сотни тысяч изображений с десятками классов. Данные для таких наборов отбираются и размечаются в течение длительного периода времени, что может стоить больших финансовых затрат. В ряде областей исследователи начинают применять синтетические исходные данные для обучения нейросетей, чтобы повысить качество получаемых прогнозов на действительных изображениях.

В области приборостроения получение полноценного набора данных в реальных условиях представляет собой практически нерешаемую задачу из-за труднодоступности.

В рамках данной работы исследуется возможность использования трехмерной среды Houdini для создания pipeline по генерации данных из трехмерной детали печатной платы для последующего распознавания этой детали на этапах производства. Такой подход обеспечит увеличение скорости перехода от производимой продукции к её цифровому двойнику, который является неотъемлемой частью современного производства.

Процесс автоматической генерации состоит из следующих этапов:

- Получение 3D отображения объекта.
- Помещение объекта, полученного на предыдущем этапе на сцену с освещением.
- Рендер необходимого кол-ва изображений для последующего распознавания.
- Разметка датасета для обучения.

Для создания сцены в которую помещается объект в Houdini созданы две сцены с различным окружением. Окружение первой сцены представляет собой только карту освещения (HDR-map). Вторая сцена представляет собой более сложную сцену с

использованием сторонних моделей окружения (мебели или любых других предметов интерьера) и более точечной настройкой освещения.

В данной работе использованы карты освещения и модели окружающих предметов из свободно распространяемых в сети Интернет. Важной составляющей генерации изображений является настройка виртуальной камеры. Для работы с камерой реализован алгоритм перемещения и поворота виртуальной камеры. В зависимости от геометрических размеров объекта, определяется сферическая область, в которую может быть помещена камера.

Рендер или «запекания» изображения осуществляется встроенным рендер-движком Houdini. Для обучения нейросетей необходимо разметить полученные изображения. Для данной работы в качестве разметки использован метод с применением Bounding boxes. Это один из самых простых и хорошо себя зарекомендовавших способов разметки изображений. Bounding box представляет собой прямоугольную ограниченную, именованную область на изображении, в которую вписан объект, который необходимо распознать. После данные о координатах в плоскости изображения нормализуются и записываются в текстовый файл.

Для процесса разметки реализован алгоритм в среде Houdini, который позволяет трансформировать координаты трехмерного пространства положения объекта в координаты Bounding Box в пространстве камеры.

Таким образом в ходе проделанной работы удалось создать алгоритмы автоматизации процесса создания и разметки датасетов, а также подтверждено, что полученные изображения могут быть использованы для обучения моделей нейросетей детекторов.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (МК-582.2022.4).

Литература:

1. Richard J. Chen, Ming Y. Lu, Tiffany Y. Chen, Drew F. K. Williamson, Faisal Mahmood, «Synthetic data in machine learning for medicine and healthcare,» Nature Biomedical Engineering (5), p. 493–497, 2021.

### **Алгоритм предотвращения столкновений в процессе движения гетерогенной группы роботов**

Хорев Т.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Задача автоматизации мониторинга воздушного судна (ВС) на его стоянке является предметом активных исследований. Для автоматизации такого мониторинга часто применяются стационарные камеры, однако такой подход не позволяет осмотреть всю наружную поверхность воздушного судна. Одним из вариантов решения такой задачи является применение гетерогенной группы роботов, в состав которой входят наземные и летающие роботы. Такой подход позволяет осуществлять мониторинг нижней и верхней частей поверхностей ВС одновременно.

При движении такой группы роботов вблизи ВС важно обеспечивать синхронность движений роботов для координации фотосъемки поверхности ВС. В качестве примера, гетерогенная группа роботов может состоять из наземного колесного робота для осмотра нижней части наружной поверхности ВС и беспилотного летательного аппарата мультироторного типа для осмотра верхней части наружной поверхности ВС. Траектории движения построенные на основе модели ВС для каждого из роботов загружаются перед процессом мониторинга и содержат привязки не только к точкам съемки, но и ко времени съемки, для получения всех необходимых снимков поверхностей ВС и контроля синхронизации по времени процесса мониторинга контролирующими системами.

В работе разработан алгоритм объезда препятствий, положение которых неизвестно при предварительном формировании траекторий мониторинга. Особенностью алгоритма является учет временных меток достижения точек осмотра на предварительной траектории для синхронизации работы гетерогенной группы роботов.

Результаты моделирования демонстрируют эффективность предложенного алгоритма при локальных изменениях траекторий движения роботов с учётом сохранения временных меток при движении по не модифицированным отрезкам предварительной траектории.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-29-00958).

### **Разработка системы автономного управления БПЛА**

Хорошко А.Л., Харитоненков А.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Современные достижения в развитии беспилотной авиации ознаменовали новый этап в решении задач, связанных с применением беспилотных летательных аппаратов. Малые БПЛА с вертикальным взлетом и посадкой на сегодняшний день являются наиболее перспективным инструментом для различных сфер деятельности человека, таких как логистика, мониторинг промышленных объектов, а также наблюдение за аграрными угодьями и природными массивами. При выполнении задач в данных сферах возникают условия, в которых не представляется возможным или является не целесообразным участие оператора в управлении летательным аппаратом. Примером таких условий могут быть стихийные бедствия, чрезвычайные ситуации, трудные погодные условия, недостижимые сложной техникой и необходимым оборудованием во многих географических точках (болота, горы, тайга). Мировой опыт по предупреждению чрезвычайных ситуаций, ликвидации последствий стихийных бедствий, техногенных, экологических катастроф последних десятилетий, свидетельствуют о возрастающей роли роботизированных систем и, в первую очередь, БПЛА.

В подобных сценариях требуется автономный полет БПЛА, заменяющий ручное управление. Подобные полеты, регулярно осуществляются по предварительно запрограммированным маршрутам, позволяют сократить затраты на оператора.

Исходя из таких условий эксплуатации, возникает задача разработки системы автономного управления полетом БПЛА для решения поставленных перед беспилотным летательным аппаратом задач.

Таким образом, для разработки системы автономного управления полетом БПЛА, необходимо решить следующие задачи: определение координат, создание трехмерных карт окружения и разработка программного комплекса для планирования маршрутов, учитывающего цели полета, текущие координаты и особенности окружающей среды.

### **Применение аналитических моделей для оценки перекрестных помех в электрических соединениях бортового радиоэлектронного оборудования**

Черникова Е.Б.

ТУСУР, г. Томск, Россия

К бортовому радиоэлектронному оборудованию (БРЭО) летательных аппаратов предъявляются жесткие требования относительно его характеристик, габаритов, надежности, обеспечению электромагнитной совместимости. Бортовое оборудование состоит из различных комплексов систем радиосвязи, навигации, управления и др., что подразумевает большое число одновременно работающих устройств. Кроме того, БРЭО характеризуется высокой плотностью монтажа печатных плат и большим числом проводников и электрических соединений [1]. Данные условия могут ухудшать электромагнитную обстановку и способствовать появлению перекрестных помех в системах. Перекрестные помехи представляют из себя амплитудные помехи, искажающие сигнал и возникающие из-за электромагнитной связи между сигнальными проводниками с другими элементами схемы. Перекрестные помехи могут вызвать ложное срабатывание схемы, привести к снижению производительности или выхода из строя оборудования. Моделированию и анализу перекрестных наводок в электрических соединениях уделяется значительное внимание для того, чтобы учитывать и корректировать возникающие проблемы еще на начальных стадиях разработки. Большинство методов анализа перекрестных помех электрических соединений и переходных процессов используют хорошо известную теорию многопроводных линий

передачи [2]. Однако существующие модели имеют ряд ограничений. Для оценки уровня перекрестных помех на ближнем (NEXT) и дальнем (FEXT) концах многопроводных линий передачи разработана аналитическая математическая модель, которая отличается от известных учетом резистивных нагрузок в начале и конце линии, а также учетом асимметрии по одной плоскости. Аналитическая модель получена посредством применения теории линий передачи (модального анализа) в частотной области. Затем с помощью преобразования Лапласа и оператора временного сдвига получается комбинация новых выражений, которые описывают формы напряжения в начале и конце как активного, так и пассивных проводников. Достоверность аналитической модели подтверждается согласованностью результатов расчета амплитуд перекрестных помех с использованием разработанной аналитической модели и численного метода. Таким образом, новая аналитическая модель позволяет вычислять формы напряжения в начале и конце линий передачи и, как следствие, определить уровень перекрестных помех. Применение модели позволит уменьшить вычислительные затраты, так как не требует использования численных методов, при этом является достаточно точной для выполнения предварительных расчетов на начальном этапе разработки систем БРЭО.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00187, <https://rscf.ru/project/22-79-00187/> в ТУСУР.

[1] Нгуен, В.Т. Перекрестные помехи во внутреннем пространстве бортового приборного модуля / В.Т. Нгуен, В.Ю. Кириллов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 2. – С. 563-568.

[2] Djordjevic A.R. Time-domain response of multiconductor transmission lines / A.R. Djordjevic, T.K. Sarkar and R. F. Harrington // Proceedings of the IEEE, vol. 75, no. 6, pp. 743-764, June 1987.

### **Подход к расчету управляющих параметров в методе терминального наведения баллистических ракет**

Шагин П.Н.

ВА РВСН имени Петра Великого, г. Балашиха, Россия

Приводится подход к определению параметров управления в алгоритме терминального наведения баллистической ракеты.

Методы терминального наведения базируются на прогнозировании конечных условий, соответствующих текущему положению летательного аппарата (ЛИА) в пространстве, и последующем расчете поправок к параметрам программы управления для достижения минимального промаха. На первом этапе осуществляется прогноз конечных параметров (или их невязок) и определяются функции чувствительности невязок по параметрам управления. На втором этапе решается система линейных уравнений относительно «добавок» в параметры управления для компенсации невязок.

В предложенном подходе преобразование невязок краевой задачи в поправки к управляющим параметрам осуществляется следующим образом. Невязка конечных условий по дальности представляется в виде разложения в ряд Тейлора с сохранением второго члена разложения. При этом частные баллистические производные рассчитываются не по аналитическим зависимостям Кеплеровой теории, а методом конечных разностей на основе данных, получаемых в последнем и предпоследнем циклах контура наведения. Вместо определения невязки в боковом направлении, используется угловое отклонение плоскости прогнозируемого пассивного участка траектории (ПУТ) от плоскости требуемой попадающей траектории. Этот угол определяется геометрически, как угол между нормальными к указанным плоскостям, и служит требуемым значением угла рыскания, обеспечивающим нужное направление плоскости ПУТ.

Стабилизация угла входа в атмосферу основана на геометрических связях между параметрами траектории ПУТ в разных ее точках. Связь между углами входа в атмосферу и бросания на требуемой траектории через интегралы Кеплеровой траектории обеспечит необходимый угол бросания терминальной скорости в конечной точке участка выведения, а в текущий момент – требуемый угол тангажа, определяемый геометрическими

соотношениями между углами тангажа и наклона текущего вектора скорости к местному горизонту.

На основе найденных угловых параметров формируется программа дальнейшего движения. Результаты моделирования показывают, что предложенный подход к расчету управляющих параметров обеспечивает малую методическую ошибку и сокращает операционные затраты БЦВМ.

Литература:

1. Горченко Л.Д. Баллистические задачи подготовки данных. Научно-методические материалы / Л.Д. Горченко. – М.: ВА им. Ф.Э. Дзержинского, 1996. – 95 с.
2. Горченко Л.Д., Нуждин Б.С. Баллистическое моделирование движения ракет с учетом погрешностей геофизических факторов –М: ВА РВСН имени Петра Великого, 2001 г. 87 с.
3. Лысенко Л.Н. Наведение и навигация баллистических ракет: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 445 с.: ил. ISBN 978–5–7038–4528–8.
4. Новиков А.В., Тихонов В.Л., Литвинов В.С. Методы анализа точности выведения ракет-носителей: монография. –Днепропетровск: ЛИРА, 2017. – 276 с.

### **Разработка системы хранения конфиденциальных данных на удаленных серверах (в публичных облаках)**

Ширяев П.И., Мокряков А.В.  
МАИ, г. Москва, Россия

В последнее время с развитием технологий стало возможно хранить данные не только на жестких дисках компьютера, но и в облачных хранилищах. Такие хранилища позволяют пользователям не беспокоиться о сохранности данных. Информация постоянно доступна через настольные приложения и клиенты, веб интерфейсы и интернет-страницы, а также по запросу связанных с облачным хранилищем инструментов. Использование таких средств упрощает взаимодействие с компьютерами, потому что файлы не потеряются при поломке жесткого диска персонального компьютера, могут быть открыты не только с помощью домашнего устройства, но также и на рабочей машине, на телефоне, на планшете и так далее.

Для обеспечения бесперебойного доступа к файлам необходимо устойчивое подключение к интернету и учетная запись одного из доступных сервисов. Такими сервисами являются: Dropbox, «Google Диск» (Google One), Mega, Яндекс.Диск, OneDrive, «Облако Mail.Ru», iCloud, Vox, pCloud и др. Данные облака обладают всеми преимуществами облачных хранилищ, которые были ранее описаны, но также имеют недостатки, которые нужно устранять.

Публичные облака являются физически большими серверными помещениями, которые вмещают в себя достаточное количество жестких дисков, оборудования и систем поддержки бесперебойной работы сервиса. Такие хранилища, являясь набором HDD носителей, представляют из себя всего лишь большой сервер, к которому можно получить доступ на физическом уровне. А также к серверу на интернет уровне можно получить доступ с помощью учетной записи администратора и прочитать файлы, хранящиеся в виртуальных хранилищах пользователей. В этом случае нет никакой гарантии безопасного хранения данных пользователей, потому как шифрование, возможно, используется только для обеспечения безопасности передачи данных, но не хранения их на серверах.

В данной работе рассматривается создание системы, позволяющей хранить данные в публичных облаках безопасно.

Для работы создано виртуальное хранилище, представляющее из себя файл со структурой памяти и множество файлов, хранящих в себе набор из отрывков реальных файлов.

Работа системы довольно примитивна, но также эффективна — для начала считывается файл со структурой памяти и расшифровывается, затем при выборе искомого файла на устройство загружаются отрывки этого файла, расшифровываются и слепляются в один большой файл, а при загрузке имеющегося файла, он разбивается на части определенной длины, записывается в файлы с отрывками и шифруется. При таком процессе становится

трудно выяснить изначальное состояние памяти, т.к. файлы не только зашифрованы, но и разделены на различные части.

Для создания системы использовался язык C# и платформа .Net.

Значимость создания такой системы заключается в повышении безопасности хранения конфиденциальных данных в публичных облаках.

Литература:

1. Ивонин П. В. Безопасность облака в деталях //Безопасность информационных технологий. — 2013. — Т. 20. — №. 2. — С. 37-40.

2. Ханис А. Л. и др. Шифрование данных в облаке с возможностью поиска //Интеллектуальные информационные системы: тенденции, проблемы, перспективы. —2019. — С. 85-100.

### **Разработка информационно-логистической системы оптовых закупок**

Ярулин Э.Р., Семенов Г.Е.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время оптовые закупки приобретают все более распространенный характер, при этом значительными темпами усложняется и их процесс – масштаб, объем информации и число пользователей стремительно растут. На этом фоне наблюдается повышенный интерес предпринимателей к информационным системам, которые могли бы позволить автоматизировать и оптимизировать различные аспекты оптовой торговли.

Одним из таких аспектов является посредничество, при котором взаимодействие между покупателем и продавцом проходит через третье лицо, выступающее одновременно посредником и гарантом сделки. Как правило, при стандартном процессе закупки с интернет-площадок посредник определяется либо самой платформой, без участия покупателя/продавца, либо его поиском занимается один из участников отношений. Недостатком обоих подходов является малый контроль за процессом посредничества, поскольку работа посредника никак не связана напрямую с системой. Иными словами, информационная система, обеспечивающая процесс закупки, не адаптирована под участие третьих лиц. Это особенно заметно в случае международной торговли, когда между покупателем и продавцом возникает ряд препятствий, включающий физическое расстояние, языковой барьер, разные юрисдикции и прочее.

В свете описанных проблем была произведена работа над информационной системой, акцент в которой сделан на следующем:

1) Поддержка третьей стороны – роли посредников. Обеспечение соответствующего доступа ко всей необходимой информации – поступающим заявкам, зарегистрированным продавцам, базе выставленных товаров. Одним из требований также является связность функционала посредника с рабочим пространством покупателей и продавцом – так, между ними должны присутствовать постоянные каналы связи, а при возникновении проблем одна из сторон может отказаться от работы с конкретным посредником.

2) Интернационализация – локализация текста, дат, валют, интегрируемость с международными сервисами. Достигается как путем разработки собственных решений, так и применением облачных TMS.

3) Работа с большими данными – анализ статистических данных в зависимости от действующего пользователя, автоматизация обработки и просмотра аналитики.

4) Интеграция IoT (интернет вещей) и устройств на основе сенсорных технологий – актуализация данных в реальном времени для всех участников торгового и логистического процесса.

Для достижения указанных задач при проектировании системы учтены все требования к разработке высоконагруженных сервисов, позволяющие обеспечить непрерывный доступ к сервисам и ресурсам системы в условиях высокой нагрузки. Отдельные части системы разбиты на соответствующие подсистемы, включающие основной лендинг платформы, логистическую систему, панель аналитики и ряд технических страниц для управления содержимым сайта. Данный подход упрощает дальнейшее масштабирование системы под конкретные нужды и требования конечного пользователя.

Литература:

1. Управление транспортно-логистическими процессами: совершенствование качества и безопасности / В.И. Гиссин, А.А. Тимонин, А.А. Погребная. - Москва;Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. - 121 с.
2. Особенности разработки высоконагруженных систем [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-razrabotki-vysokonagruzhennyh-sistem> (дата обращения: 11.10.2023).
3. Основы НРС-технологий [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/articles/172567/> (дата обращения: 15.10.2023).

## 4. Информационно-телекоммуникационные технологии авиационных, ракетных и космических систем

### Экспериментальное исследование возможности обнаружения малоразмерных низковысотных малоподвижных целей с помощью РЛС высокого пространственного разрешения

Ананенков А.Е., Шумилин И.А., Яковченко Н.Р.

МАИ, г. Москва, Россия

Для обнаружения малоразмерной низколетящей цели ключевым является вопрос селекции фоновых отражений от подстилающей поверхности. В результате расчётов была получена оценка необходимого коэффициента подавления применительно используемого экспериментального макета РЛС высокого пространственного разрешения (не менее 36 дБ).

Пуём моделирования было выяснено, что доплеровская селекция имеет достаточную эффективность при селекции целей, движущихся в высокоскоростных доплеровских каналах, однако из-за «просачивания» сигнала из нулевого канала недостаточно эффективна при селекции целей, движущихся в нулевом и близком к нему ( $\pm 1$  и  $\pm 2$ ) скоростных каналах.

В вышеозначенных каналах необходимы дополнительные методы селекции малоподвижных целей. Известными методами улучшить наблюдаемость таких целей являются некогерентное межобзорное вычитание (МОВ) и использование эффекта межпомеховой видимости (МПВ), возникающего при использовании радиолокационных станций с высоким пространственным разрешением. В качестве экспериментальной установки был использован макет перспективной РЛС с высокой разрешающей способностью.

Применение некогерентного МОВ к данным, экспериментально полученным от макета РЛС, позволило добиться необходимого результата в  $\pm 2$  скоростном канале, однако недостаточно эффективно при селекции целей в нулевом и  $\pm 1$ -ом каналах. Для наблюдения целей в этих каналах использовалось МОВ в совокупности с эффектом МПВ, что позволило наблюдать малоподвижную цель в просветах пассивных помех.

В результате исследования были получены следующие выводы:

1. При использовании доплеровской селекции необходимый для обнаружения цели коэффициент подавления реализуется, начиная с 3-го доплеровского канала;

2. В каналах, близких к нулевому, необходимой эффективности селекции получается достичь с помощью МОВ;

3. Зоны, поражённые пассивной помехой, в нулевом канале составляют менее 40% элементов разрешения и не являются сплошными, вследствие чего обнаружение и сопровождение цели в остальных зонах возможно для нулевого и  $\pm 1$ -ого каналов за счёт использования эффекта МПВ.

Литература:

1. А.Е. Ананенков, В.М. Нуждин, В.В. Расторгуев, В.Н. Скосырев. «Высокоинформативные РЛС малой дальности». Издательство МАИ, Москва, 2018 г

2. Бакулев П. А. Радиолокационные системы: учебник для вузов / Бакулев П. А. - М.: Радиотехника, 2015. - 437 с.

### Применение КА-ретрансляторов, реализующих алгоритмы сжатия данных

Борискин Д.Д., Плохих А.П.

МАИ, г. Москва, Россия

Быстрый рост числа научных миссий, занимающихся мультиспектральным исследованием планет и объектов солнечной системы с помощью автоматических межпланетных станций (АМС), предъявляет новые требования по обеспечению передачи больших объемов информации на Землю с помощью космических радиолиний [1]. Благодаря поиску новых сигнально-кодовых конструкций и использованию помехоустойчивых методов кодирования, эффективность технически реализуемых радиолиний космической связи практически достигла предела Шеннона. Это значит, что при больших удалениях (3-10 а.е.) скорость

передачи данных с современных АМС лежит в диапазоне десятков, сотен кбит/с, что явно недостаточно для передачи больших объемов данных, дистанционного зондирования.

Одним из путей повышения объемов передаваемой информации является использование алгоритмов сжатия данных на борту АМС [2], но оно не получило широкого распространения по следующим причинам:

1. Возникновение хотя бы одной ошибки при передаче данных пакета сжатой информации приводит к искажению информации всего сжатого пакета. 2. Обработка высокоскоростных потоков информации требует значительных вычислительных ресурсов на борту космического аппарата, что приводит к увеличению стоимости, массы и энергопотребления.

В данной работе рассматривается новый подход к увеличению объемов передаваемой по космическим радиолиниям информации за счет применения космических аппаратов (КА) - ретрансляторов, дополнительно оборудованных вычислительными средствами, реализующими различные алгоритмы сжатия данных. Это даёт двойной эффект.

Во-первых, располагая космический ретранслятор на малом расстоянии к АМС, мы можем обеспечить высокую скорость передачи данных на первой части трассы (АМС-КА-ретранслятор).

Во-вторых, используя программное сжатие информации в самом ретрансляторе и стандартную радиолинию связи на второй части трассы (КА-ретранслятор – Земля) можно увеличить объем передаваемой информации в 1.2–10 раз, в зависимости от применяемого метода сжатия [3]. При этом, современные методы сжатия информации позволяют осуществлять компрессию с небольшими потерями или вовсе без них [4].

Использование КА-ретрансляторов с аппаратным сжатием данных обеспечивает следующие преимущества:

1. Сохранение структуры типовой АМС и возможность работы КА-ретранслятора с типовыми протоколами передачи данных.

2. Отсутствие необходимости сжатия данных на самом КА повышает его надежность и освобождает вычислительные ресурсы для других целей.

3. Существенное увеличение объемов передаваемых данных.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-19-00515.

Литература:

1. Бахтин А.А., Омелянчук Е.В., Семенова А.Ю. Анализ современных возможностей организации сверхвысокоскоростных спутниковых радиолиний //Труды МАИ. – 2017. – №. 96. – С. 18.

2. Donckels J.R., Lovelly T.M., Mee J.K. Comparing Data Processing and Transmission Scenarios for Spacecraft //2021 IEEE Space Computing Conference (SCC). – IEEE, 2021. – С. 95-99.

3. Мордвинов А.Е. Увеличение объемов передаваемой по космическим радиолиниям информации за счет применения алгоритмов сжатия //Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2021. – Т. 8. – №. 1. – С. 77-85.

4. Абрамов Н.С., Шишкин О.Г. Разработка и исследование методов сжатия данных дистанционного зондирования земли //Современные наукоемкие технологии. – 2021. – №. 5. – С. 9-13.

### **Способ оценки диаграммы направленности антенны в дальней зоне с помощью плазменных образований**

Егоров В.В., Картуков А.В., Золотенкова М.К.  
МАИ, г. Москва, Россия

Как известно, для организации радиосвязи на большие расстояния, а также в радиолокационных и некоторых радионавигационных системах важной характеристикой антенной системы является узость диаграммы направленности (минимума или максимума). При этом при установке непосредственно самой антенны на объекте возникают задачи калибровки, юстировки, фокусирования антенной системы. Также подобные задачи

возникают при периодическом контроле параметров антенны. Для их решения существуют различные способы и методы, в основном достаточно сложные в реализации.

Существует довольно известный метод, активно применяющийся в радиоастрономии, когда настройка антенны осуществляется с помощью приёма шума той или иной достаточно яркой звезды. Это позволяет как выставить ось антенны, так и сфокусировать апертуру. Для описанных выше систем, не связанных с радиоастрономией, такой способ и метод малоприменимы ввиду недостаточной чувствительности приёмных устройств, наличия мешающих помех, сравнительно небольшой апертуры антенн и других факторов, однако сама по себе концепция представляет интерес, так как настройка антенны в данном случае является достаточно простой задачей.

Существует описанный в других работах способ формирования плазменного образования в атмосфере с помощью лазерного луча, предварительно расфокусированного и снова сфокусированного на необходимом удалении от источника излучения. В точке наивысшей плотности потока энергии луча происходит ионизация газов атмосферы, сопровождающаяся выделением энергии в широком спектре от радиодиапазона до ультрафиолетового излучения. Таким образом, с помощью предлагаемой системы можно формировать точечный широкополосный излучатель шума на достаточно большом расстоянии от источника сигнала и с высокой степенью точности его размещения.

В зависимости от мощности лазера и расстояния от антенны такой объект может быть использован как эталонный точечный источник излучения, по которому может производиться настройка параметров антенной системы.

### **Полосно-пропускающий СВЧ-фильтр для бортовой аппаратуры космических аппаратов**

<sup>1</sup>Запетляев В.М., <sup>2</sup>Жуков А.А., <sup>1</sup>Якухин С.Д.  
<sup>1</sup>АО «РКС», <sup>2</sup>МАИ, г. Москва, Россия

Основными направлениями развития космической СВЧ микроэлектроники являются увеличение срока активного существования, снижение массогабаритных характеристик с одновременным ростом рабочих частот. Данным критериям соответствуют СВЧ приборы, в частности, СВЧ-фильтры, с интегрированным в подложку волноводом [1], удовлетворяющие критериям, предъявляемым к электронной компонентной базе космического применения, что и определяет актуальность работы. Цель работы – оптимизация конструктивно-технологического варианта СВЧ-фильтра методами моделирования и макетирования. Модель СВЧ-фильтра представляет собой сборку и включает в свой состав микроэлектронную плату из высокоомного монокристаллического кремния, входную и выходную поликорковые платы, установленные на общем основании. Микроэлектронная плата металлизирована структурой хром-медь-золото и содержит сквозные металлизированные отверстия, формирующие зоны объемных резонаторов. Топологический рисунок платы включает входной и выходной копланарный волновод, и элементы возбуждения резонаторов фильтра. Образованные отверстиями резонаторы настраиваются на заданную центральную частоту полосы пропускания. Макет СВЧ-фильтра реализован с применением микроэлектронных технологий [2]. Для компенсации ТКЛР микроэлектронная плата методом без флюсовой пайки жестко установлена на основании из сплава 29НК, покрытого слоем никель-золото. Материалы применимы для эксплуатации в космическом пространстве и не подвержены разрушительному действию дестабилизирующих факторов. Моделирование СВЧ-характеристик показало величину потерь не более 3,5 дБ в полосе пропускания 1 ГГц. Применение данного конструктивно-технологического варианта полосно-пропускающего СВЧ-фильтра удовлетворяет требованиям к электронной компонентной базе космического назначения и позволяет обоснованно подходить к конструированию бортовой аппаратуры космических аппаратов.

Литература:

1. Жуков А.А., Алимов М.В., Якухин С.Д., Крылов Г.С. СВЧ фильтр на основе интегрированного в подложку волновода и способ его изготовления. Заявка № 2018115536, заявл. 25.04.2018; опубл. 29.04.2019. Патент РФ № 2686486 – 23 с.

2. Запетляев В.М., Ануров А.Е., Корпухин А.С., Жуков А.А., Якухин С.Д. Методы формирования плат малогабаритных полосовых СВЧ фильтров космического назначения. 6 - 8 июня 2023 года АО «Российские космические системы» Юбилейная XI Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий». М., Тезисы докладов. АО «Российские космические системы», 2023-164 с. С. 156-157

### **Лазерная система сканирования подстилающей поверхности для посадки автономного летательного аппарата**

Картуков А.В., Киселев И.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В работе рассматривается лазерная система сканирования подстилающей поверхности для посадки автономных летательных аппаратов. Такие аппараты не всегда могут осуществить безопасный маневр при посадке на неподготовленную или ограниченную поверхность в автоматическом режиме, а также при ручном управлении в условиях недостаточной видимости.

Применение лазеров имеет ряд преимуществ по сравнению с другими системами:

- Повышается точность измерения координат и помехозащищенность.
- Не требуется дополнительного оснащения радиолокатором или радиомаяком, как это используется в радиотехнической или радиомаячной системе.
- Отличается меньшим потреблением энергии, габаритами и ценой.
- Проще поддается автоматизации.

Сначала, используя лазерное сканирование, строится трехмерная карта подстилающей поверхности на основе разработанного алгоритма и из массива данных, полученных от малоканального координатно-чувствительного фотоприемного устройства. Затем алгоритм автоматически находит на построенной трёхмерной карте безопасное место посадки аппарата, исходя из особенностей местности и характеристик летательного аппарата.

Особенностью системы является то, что лазерные излучатели, находящиеся на борту, поочередно излучают импульсы, которые через оптическую отклоняющую систему направляют лучи на подстилающую поверхность и, отражаясь от нее, попадают на малоканальное координатно-чувствительное фотоприемное устройство. Таким образом, собирается координатная информация о множестве отражающих точек подстилающей поверхности и формируется её трёхмерная карта.

При посадке программный алгоритм вычисляет координатную информацию о высоте, скорости снижения, углах наклона аппарата и подстилающей поверхности. Далее формируется сигнал, который передается в систему управления летательного аппарата для осуществления безопасной автоматической или ручной посадки. Малоканальные координатно-чувствительные фотоприемники могут работать с модулированными оптическими сигналами, что позволяет повысить помехоустойчивость, скорость обработки информации и точность системы посадки на неподготовленную подстилающую поверхность.

Литература:

1. «Основы импульсной лазерной локации» Козинцев В.И., Белов М.Л., Орлов В.М., Городничев В.А., Стрелков Б.В.
2. «Многооконные оптико-электронные датчики линейных размеров» Меркишин Г.В.
3. «Локационные лазерные системы видения» Карасик В.Е., Орлов В.М.

### **Использование цифровой обработки сигналов в ячейках приёмников ПВО**

Косонов П.Ю., Бухаров С.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В последние десятилетия прослеживается тенденция к увеличению скорости полета и маневренности, а также к снижению заметности отдельных классов военных самолетов, вертолетов и ракет. Кроме того, появился такой класс техники как БПЛА, обладающие меньшими габаритами и массой чем непосредственно управляемые человеком самолеты и

вертолеты и как следствие меньшей заметностью при сопоставимых прочих параметрах. Серьезное изменение указанных выше параметров потребовало улучшения параметров РЛС, в частности увеличение разрешающей способности по дальности и скорости, а также увеличению канальности (количества одновременно сопровождаемых целей). Это было достигнуто благодаря разработке сложных сигналов и методов их обработки, а также совершенствованию элементной базы в направлении микроминиатюризации, увеличения быстродействия, снижения уровня собственных шумов и потребляемой мощности, а также реализации в габаритах одного кристалла сложных устройств типа АЦП, ЦАП, цифровые приемники, микропроцессоры и т.д.

В настоящее время в отечественной военной промышленности в приёмниках ПВО в подавляющем большинстве случаев используются приёмники с использованием аналогового сигнала. Как мы знаем, аналоговый сигнал непрерывен, избыточен, подвержен помехам и не защищён от вторжения извне. В связи с этим, целью работы является разработка ячейку цифрового приёма сигналов в ячейках приёмников ПВО. Ячейка цифрового приёма позволит улучшить скорость приёма сигнала и обеспечит систему высокими показателями помехоустойчивости.

### **Особенности обнаружения наземных движущихся целей в РЛС с синтезированием апертуры в длинnodeциметровом диапазоне**

Кучмий А.Д., Ясенцев Д.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Развитие РЛС обзора подстилающей поверхности непрерывно сопровождалось ростом их тактических показателей. Одним из важнейших показателей качества РЛС обзора подстилающей поверхности является их разрешающая способность, которая, в свою очередь, определяет возможности РЛС по обнаружению и распознаванию малоразмерных наземных целей.

Качественный скачок в развитии РЛС воздушной разведки произошёл после начала практического применения в данных системах режимов функционирования, основанных на принципах синтезирования искусственной апертуры антенны. Такие системы позже получили название РЛС с синтезированием апертуры (РСА).

Помимо задач картографирования подстилающей поверхности в настоящее время подобные системы решают также и задачи обнаружения подвижных наземных объектов с определением их координат и параметров движения, а также индикацией изображения движущихся целей на сформированном радиолокационном изображении (РЛИ).

Традиционно бортовые РСА самолётов тактической авиации использовали трёхсантиметровый диапазон электромагнитных волн. Однако использование диапазона длин волн 70 см (длинnodeциметровый диапазон или Р-диапазон) позволяет повысить возможности систем воздушной разведки, в частности, при решении задач поиска замаскированных или заглубленных объектов, а также объектов под слоем растительности. Внедрение режима селекции наземных движущихся целей (СНДЦ) для РЛС Р-диапазона позволило бы не только обнаруживать стационарные замаскированные цели, но и обнаруживать факт движения объектов, например, под лесными покровами. Это позволит существенно повысить информативность получаемой радиолокационной информации о текущей тактической обстановке.

При этом технические особенности бортовых РЛС, использующих Р-диапазон, не позволяют использовать готовые технические решения в части подходов к режимам СНДЦ, применяемых в РСА сантиметрового диапазона. Это, во-первых, невозможность использования узконаправленных реальных антенн, во-вторых, сложности при обеспечении высокой разрешающей способности (10 - 15 метров), и так далее. Тем не менее, интерес к подобным РСА делает задачу разработки режимов СНДЦ для РСА Р-диапазона достаточно актуальной. Данная работа посвящена анализу особенностей РСА Р-диапазона по сравнению с аналогичными системами сантиметрового диапазона, а также оценки возможности реализации традиционных алгоритмов СНДЦ в длинноволновых РСА.

Литература:

1. Dragosevic M.V., Burwash W., Chiu Sh. Detection and Estimation With RADARSAT-2 Moving-Object Detection Experiment Modes // IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing. 2012. Vol. 50. N. 9. P. 3527–3543;
2. Moccia A., Rufino G. Spaceborne Along-Track SAR Interferometry: Performance Analysis and Mission Scenarios // IEEE Transactions On Aerospace And Electronic Systems. 2001. Vol. 37. N. 1. P. 199–213;
3. Wang P., Liu M, Wang S. et.al. 3D Velocity Estimation for Moving Targets via Geosynchronous Bistatic SAR // China International SAR Symposium (CISS). 2018;
4. Park J.-W., Won J.-S. An Efficient Method of Doppler Parameter Estimation in the Time–Frequency Domain for a Moving Object From TerraSAR-X Data // IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing. 2011. Vol. 49. N. 12. P. 4771–4787;
5. Татарский Б.Г., Ясенцев Д.А. Оценка тангенциальной составляющей вектора скорости наземной движущейся цели в РСА при вращении фазового центра реальной антенны. // Информационно-измерительные и управляющие системы – Изд.: «Радиотехника», 2018.

### **Оценка эффективности алгоритма ДСДЦ по флюктуирующей кромке леса**

Лихарев Ю.В., Алёхин В.И.

МАИ, г. Москва, Россия

В данной работе было исследовано, насколько эффективен оказывается алгоритм доплеровской селекции движущейся цели при обнаружении малоразмерной цели на фоне флюктуирующей кромки леса.

При обнаружении малоразмерных движущихся целей на фоне сильно отражающих неподвижных объектов, например, подстилающей поверхности, возникает необходимость как-либо выделить сигнал, отраженный именно от движущейся цели. Сложность решения этой задачи будет напрямую зависеть от свойств подстилающей поверхности. К таким свойствам относят удельную ЭПР, геометрическую структуру поверхности, линейные размеры и углы наклона неровностей, тип отражения сигнала от поверхности (диффузное или зеркальное).

В случае если подстилающая поверхность является флюктуирующей, как, например, кромка леса под ветровой нагрузкой, то к вышеупомянутым свойствам также добавляются спектральные характеристики отраженного сигнала.

Наблюдение малоподвижных объектов в системах со сверхширокополосными сигналами рассмотрено в [1] и представляет сложность в связи с перекрытием спектров сигналов, отраженных от цели и от местных объектов.

Исследование эффективности алгоритма проводилось посредством анализа результатов селекции радиолокационных изображений, полученных в ходе проведения эксперимента. Эксперимент ставился на базе макета РЛС малой дальности обнаружения малоразмерных воздушных целей, сконструированного в «Московском авиационном институте». РЛС обладает хорошими тактико-техническими характеристиками, часть из которых:

Несущая частота – 9,8 ГГц.

Ширина ДНА по уровню 0,5 по мощности.

В азимутальной плоскости – 1о.

По углу места – 20о.

Тип зондирующего сигнала – радиоимпульс длительностью 10нс или ЛЧМ радиоимпульс длительностью 2мс с девиацией частоты 120 МГц.

Частота излучения РИ – до 20 кГц.

Скорость вращения антенны – до 360 о/сек.

В докладе приведены экспериментально полученные РЛИ, результаты селекции с помощью алгоритма ДСДЦ, а также результаты анализа эффективности данного алгоритма при обнаружении цели на фоне флюктуирующей кромки леса.

1. Шевцов В.А. Исследование методов и алгоритмов обнаружения неподвижных и малоподвижных объектов с использованием новой технологии – нанопульсовой радиолокации. НИР: грант № 09-07-13592. Российский фонд фундаментальных исследований. 2009.

## **Модель контроля технического состояния и калибровки каналов ППМ АФАР**

Луковский М.А., Матвеев А.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Моделирование высокочастотных радиоканалов приема-передачи сигналов позволяет на начальных этапах разработки получить удобный инструментарий анализа, выбора и оценки потенциально достижимых характеристик модулей и системы в целом. На более поздних этапах частично или полностью заменить дорогостоящее макетирование.

Для целей моделирования структуры модулей ППМ и алгоритмов сигнального анализа в части задач контроля, диагностики и калибровки по функционалу и динамике развития выделяются программные продукты компании Keysight (пакет Suite), LabView компании National Instruments и Matlab (Simulink). Из вышеперечисленных программ для создания модели контроля и калибровки ППМ АФАР выбор сделан в пользу Keysight Suite с набором приложений SystemVue (Pathwave Design), ADS и Em-Pro, поскольку с их помощью можно развить модель от уровня функциональной схемы до модели конкретной конструкции; импортировать файлы распространенных современных САПР (Solid Works и др.) и программ в области радиочастотного моделирования (Matlab, CST Studio, HFSS и пр.); создавать модель как самой аппаратуры, так и окружающей обстановки и сигнальной обработки.

Разрабатываемая модель ППМ АФАР реализует функциональную схему 3-канального ППМ с двумя каналами на приём и одним каналом на передачу. Данная модель включает частотно-зависимые компоненты усилителей, аттенюаторов, фазовращателей, направленных ответвителей, ограничителей уровня сигнала, делителей мощности из библиотеки RF-design. Источником сигнала служит компонент Multisource, реализующий функцию синтезатора частот (генератора зондирующих и стимулирующих сигналов). По итогам моделирования на основе компонент Sink и Spectrum Analyzer продемонстрированы в контрольных точках входов и выходов каналов ППМ сигналы во временной и частотной областях.

Контроль технического состояния ППМ АФАР предложено осуществлять за счет прежде всего контроля проходящей мощности на входах и выходах каналов. Для чего служат компоненты направленных ответвителей, амплитудных детекторов и компараторов.

По результатам контроля, при необходимости, происходит калибровка каналов ППМ. В частности, выполняется задача компенсации тепловых дрейфов температурно зависимых компонент и их характеристик. В представленной модели реализована компенсация тепловых дрейфов в приёмном и передающем канале, возникающих во всех усилителях мощности схемы ППМ.

Литература:

1. Воскресенский Д.И., Канащенков А.П. Активные фазированные антенные решетки. Радиотехника. 2004. 488 с.
2. Воронин Е.Н., Шифрин Я.С. Диагностика антенных решеток /Активные фазированные антенные решетки / под. ред. Д.И. Воскресенского., А.И. Канащенкова, М.: Радиотехника. 2004. 488 с.

## **Оценка достоверности модели отраженного сигнала для РЛС непрерывного излучения при обнаружении вращающихся структур**

Мачинский Г.С., Виноградов М.С., Нелин И.В., Ясенев Д.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В рамках инициативной работы по изучению эффекта пропеллерной модуляции, была написана компьютерная модель в среде GNU Octave на основе известного математического аппарата, описывающего эффект вторичной модуляции радиолокационных сигналов.

В модели – сигнал на входе приемника РЛС представлен как суперпозиция сигналов, отраженных от каждой блестящей точки вращающейся структуры. Компьютерная модель подразумевает равномерное круговое вращение лопастей, а также стационарность объекта вращения. В результате моделирования был получен сигнал промодулированный по амплитуде, частота модуляции которого равна частоте вращения лопастей вращающейся структуры. В качестве обработки используются спектральный и корреляционный анализы.

Для подтверждения адекватности полученных результатов работы компьютерной модели была создана экспериментальная лабораторная установка, состоящая из макета цели и доплеровского радара непрерывного излучения. Сигнал на выходе РЛС представляет собой разность зондирующего и принятого сигналов. Принятый сигнал поступает в АЦП и далее обрабатывается на ЭВМ.

Для сбора статистической информации было произведено облучение различных конфигураций вращающейся структуры. В результате экспериментов и проведенного анализа были получены зависимости параметров принятого сигнала от параметров вращающейся структуры. Так же экспериментально полученные реализации и их спектральные и корреляционные представления, сравнили с полученными в схожих условиях моделями сигналов. Сравнительный анализ показывает принципиальное совпадение результатов работы компьютерной модели и экспериментальных данных, что может говорить об адекватности работы компьютерной модели, а также возможность применения написанной компьютерной модели в дальнейших исследованиях, для которых не представляется возможным произвести эксперимент в лабораторных условиях.

Однако открытым остается вопрос о допустимом минимальном времени накопления сигнала, для выделения сигнальных признаков вращающихся структур. Так же дополнительно необходимо исследовать методы и способы обработки, для извлечения дополнительной информации о цели.

### **Микродоплеровский эффект в радаре со сверхширокополосным частотно-манипулированным сигналом**

Монахов М.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

Часто объектами интереса в радиолокации являются неподвижные цели, имеющие внутренние микроперемещения. К таким целям относятся живые люди, характеризующиеся наличием дыхания, шевелением органов, технические объекты с работающими двигателями, зависшие квадрокоптеры и т. д. [1]. В этих случаях интерес представляет обнаружение наличия микродоплеровского эффекта, обусловленного микроперемещениями объекта.

Поскольку микроперемещения элементов объекта имеют небольшие амплитуды (от десятков сантиметров до единиц миллиметров), то их обнаружение возможно, когда радар имеет высокую разрешающую способность по дальности или когда длина волны несущего колебания намного меньше амплитуды самих микроперемещений [2]. В обоих случаях наличие микроперемещений приводит к изменению амплитуды и фазы отраженных сигналов.

Целью исследования таких явлений является, во-первых, выявление возможности обнаружения микроперемещений, и, во-вторых, определение их характерных признаков – частоты и амплитуды колебаний. Для проведения подобных исследований в Научно-производственном центре проектирования радиолокационных систем Московского авиационного института (НППЦ ПРЛС МАИ) разработан макет радара, использующего сверхширокополосный сигнал с частотной манипуляцией (другое название – сигнал со ступенчатой частотной модуляцией (СЧМ) [3]). Полоса частот излучаемого сигнала может меняться в пределах от 1 до 5 ГГц, а для обработки сигнала используется универсальный компьютер.

Проведена серия экспериментов при лоцировании различных объектов с микроперемещениями – людей, маятников и вентиляторов. Получены сигналы, обработка которых позволяет выделить информационные признаки, характеризующие частоты колебаний объектов с высокой точностью.

Литература:

1. The Micro-Doppler Effect in Radar, Second Edition. Victor C. Chen. Artech House. Boston, London, 2019.
2. Моделирование и обработка радиолокационных сигналов в Matlab. Учеб. пособие / Под ред. К.Ю. Гаврилова. – М.: Радиотехника, 2020. – 264 с.

3. Избранные задачи теории сверхширокополосных радиолокационных систем / В.В. Чапурский. – 3-е изд., испр. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – 279 [1] с.: ил.

### **Метод уменьшения интерференционных провалов, основанный на смещении несущей частоты зондирующего сигнала**

Охотников Д.А., Герасимов А.В., Ляпина В.С., Куракина А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В задаче обнаружения воздушной цели вблизи земной поверхности одним из факторов, влияющих на вероятность обнаружения, является переотражение сигналов от земной поверхности. В результате этого сигнал, отражённый от цели напрямую и сигнал, переотраженный от земли, складываются. Это приводит как к увеличению сигнала на приемнике, так и к его падению ниже уровня шумов, что называют интерференционными провалами [1].

К существующим методам борьбы с переотражениями от земли относят [2]:

- Метод наклона диаграммы направленности антенны.
- Методы двух разнесенных по высоте антенн.
- Фазно-противофазный методы.
- Методы изменения поляризации излучаемого магнитного поля.

В ходе выполнения данной работы для оценки частоты и глубины интерференционных провалов была построена модель изменения амплитуды сигнала, отраженного от цели, в зависимости от дальности и проведён ряд экспериментов, воспроизводящих параметры, заданные при моделировании. Разработанная модель учитывает следующие параметры: высота ФЦА, высота цели над землей, максимальная дальность до цели, минимальная дальность до цели, ширина ДНА по азимуту, ширина ДНА по углу места, угол места антенны. При обработке результатов эксперимента был определен закон изменения амплитуды сигнала, отраженного от цели, в зависимости от дальности и подтверждена адекватность модели.

В докладе приведен метод борьбы с переотражениями от земли, основанный на смещении несущей частотой сигнала. Проверка этого способа на разработанной модели показала, что при смещении несущей частоты в 1.5 глубина интерференционных провалов не превышает – 6 Дб.

1. Буров Н.И. Маловысотная радиолокация. – М.: Воениздат, 1977. 128 с. С ил. (Радиолокационная техника).

2. Черныш Е.И., Никитин А.А. методы уменьшения глубины интерференционных провалов в зоне обнаружения РЛС дециметрового диапазона. Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2000. № 5. С. 64-68.

### **Применение теории характеристических мод к разработке антенных излучателей**

Подберезный А.В., Анкин Г.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В связи с непрерывным развитием радиоэлектронных устройств к антенным устройствам предъявляются все более жесткие требования. С появлением новых задач, как следствие, приходят новые инструменты для их решения. Одним из таких инструментов является теория характеристических мод (ТХА), разработанная в 1963 [1] Гарбажом, и получившая развитие в работах Харрингтона [2]. Несмотря на появление ТХА в 1963 году, использование ТХА в антенной технике началось лишь в последнее десятилетия [3]. Преимуществом ТХА является возможность расчета антенной структуры без схемы возбуждения.

На примере Е-патч показано применение теории характеристических мод. Рабочая частота выбрана 5,2 ГГц. Результатом теории характеристических мод является модальное значение, по которым делается вывод о рабочей частоте, распределение модальных полей, модальные диаграммы направленности. С помощью ТХА оптимизированы размеры Е-патча с целью

настройки антенны на рабочую частоты  $f=5.2$  ГГц. Размеры Е-пагча составляют 15,2x15,7. По оценке распределения поля выбрана точка возбуждения.

С целью подтверждения выбранной точки возбуждения проведено электромагнитное моделирование методом конечных разностей во временной области. Результат электромагнитного моделирование совпадает с результатом, полученных с помощью теории характеристических мод. По уровню -10 дБ полоса частот составляет 700 МГц на центральной частоте 5,2 ГГц. Ширина диаграммы направленности 89 градусов, коэффициент усиления 6,67 дБ.

1 Garbacz, R.J. Modal expansions for resonance scattering phenomena. // Proceedings of the IEEE. 53 (8): 856–864.

2 Harrington, R, Mautz, J. Theory of characteristic modes for conducting bodies // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 19 (5): 622–628.

3 M. Cabedo-Fabres. The Theory of Characteristic Modes Revisited: A Contribution to the Design of Antennas for Modern Applications// IEEE Antennas and Propagation Magazine 49(5):52 – 68.

### **Анализ и систематизация модальных фильтров на двухсторонней печатной плате**

Самойличенко М.А.

ТУСУР, г. Томск, Россия

Все чаще в качестве защиты радиоэлектронная аппаратура от сверхширокополосных помех (СШП) применяют полосовые и микрополосковые линии. Так, на их основе исследуются модальные фильтры (МФ) [1]. Особый интерес представляют МФ на двухсторонней печатной плате (ДПП), так как такие МФ легко реализуются (обычная ДПП) и обладают хорошим подавлением СШП. Так, ранее исследован МФ в вырезе опорной плоскости [2], исследован МФ на ДПП [3], показана возможность разложения СШП в МФ на ДПП с лицевой и торцевой связями [4]. Однако, отсутствует системное представление предложенных МФ на ДПП, их особенностей, достоинств и недостатков в единой работе. Цель данной работы – восполнить этот пробел.

Так, показано, что традиционные линии передачи могут быть легко модифицированы в защитные структуры. Выполнен анализ МФ в вырезе опорной плоскости. На выходе такой структуры СШП раскладывается на 2 импульса меньшей амплитуды, а ослабление составило около 5 раз. Так, из-за большой ширины сигнальных проводников и расстояния между проводниками данный МФ обладает средними показателями плотности трассировки, при этом большая разность задержек мод и равенство амплитуд разложенных импульсов обеспечивают высокие показатели помехоподавления СШП. Для наилучшего ослабления СШП необходим тонкий диэлектрик. За счет этого снижается механическая прочность МФ, хотя и уменьшается масса.

Схожими характеристиками обладает МФ, который может быть образован путем модификации опорного проводника копланарной линии передачи. Выявлено, что в случае соединения опорных проводников только на концах, на выходе такого МФ наблюдаются 3 импульса и ослабление составляет 3,2 раза, а при соединении вдоль всей длины – 2 импульса с ослаблением 2 раза. Так, соединение опорных проводников вдоль всей длины позволило увеличить разность задержек мод, так что длину МФ можно уменьшить до 20 см. Плотность трассировки и механическая прочность остаются, как и для предыдущего МФ.

Показана возможность разложения СШП в МФ с лицевой и торцевой связями. Добавление двух пассивных проводников позволяет увеличить ослабление СШП до 4 раз. Однако разность задержек мод при увеличении длительности входного СШП уменьшается, что не позволяет уменьшить длину МФ. Для наилучшего ослабления СШП необходим тонкий диэлектрик, что ухудшает механические свойства МФ. Большое количество сигнальных проводников ограничивает область применения таких структур в реальных ДПП.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2022-0001.

[1] Gazizov A.T., Zabolotsky A.M., Gazizov T.T. Time-domain response of asymmetrical modal filter without resistors to ultrashort pulse excitation // 17th International conference on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM). Russia. 30 June, 2016. P. 85–88.

[2] Samoylichenko M.A., Zhechev Y.S., Kosteletskii V.P., Gazizov T.R. Electrical characteristics of a modal filter with a passive conductor in the reference plane cutout // IEEE Transactions on electromagnetic compatibility. 2020. Vol. 63, Iss. 2. P. 435–442.

[3] Самойличенко М.А., Газизов Т.Р. Влияние соединения опорных проводников на разложение сверхкороткого импульса в модальном фильтре на двухсторонней печатной плате // Журнал радиоэлектроники. 2021. №12. С. 1–19.

[4] Самойличенко, М.А. Модальные фильтры для защиты от сверхкоротких импульсов: исследование возможностей эффективного использования в двусторонних печатных платах // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 4. С. 58–71.

### **Анализ методов автоматической генерации кода для повышения эффективности реализации цифровых алгоритмов обработки сигналов на ПЛИС**

Тяпкин П.С., Усс Е.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Разработка современных устройств связи требует значительных вычислительных ресурсов и, как правило, не обходится без каскадов цифровой обработки сигналов и высокоскоростных протоколов передачи данных, реализация которых возможна лишь на гибкой логике, вроде программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Однако необходимость постоянно осуществлять валидацию всей системы в целом и верификацию отдельных функциональных блоков, а также узлов взаимодействия между ними в разрабатываемой аппаратуре требует больших временных ресурсов.

Значительно ускорить процесс разработки можно путем применения готовых IP-блоков (IP – Intellectual Property), или IP-ядер – модулей, написанных сторонними разработчиками и, как правило, в коммерческих целях, представляющих собой готовое решение для интеграции в проект. Данный подход имеет следующие недостатки:

1. Отладка и функциональная доработка коммерческих IP-блоков с закрытым кодом, в том числе в случае обнаружения ряда скрытых ошибок и недокументированных возможностей, будет невозможна. Ответственность за применение готового решения возлагается на разработчика, использующего его в своем проекте.

2. Готовые IP-блоки являются зависимыми от конкретной аппаратной платформы. В случае перехода как от одного производителя кристалла ПЛИС к другому (например, при переходе от AMD/Xilinx к Intel/Altera), так и при переходе от одной модели к другой внутри одного семейства могут возникать проблемы совместимости вплоть до невозможности применения IP-блока в новом решении.

В работе рассматривается применение методов автоматической генерации кода для ПЛИС. За счет применения высокоуровневых языков программирования, таких как Python, MATLAB и Julia, автоматическая генерация кода позволяет ускорить разработку и верификацию проекта. Применение методов автоматической генерации кода в проекте ПЛИС лишено недостатков, приведенных выше для IP-блоков: исходный код, полученный в результате генерации, не является аппаратно-зависимым, его можно тестировать, отлаживать и в последующем поддерживать и расширять в рамках разрабатываемого проекта.

В работе рассмотрены следующие методы автоматической генерации кода, находящиеся в свободном доступе: PyMPL3, MuHDL, hdltools, ruverilog. Приведены примеры работы с блоками и сравнительные таблицы используемых логических элементов ПЛИС в зависимости от выбранной технологии разработки. Так, например, автоматическая генерация блока фильтра с конечной импульсной характеристикой реализованного на полностью последовательной архитектуре с 160 коэффициентами разрядностью 16 бит на кристалле Artix-7 от Xilinx занимает 316 логических элементов, 5 блоков BRAM и 4 вычислительных блоков DSP48. Фильтр с аналогичными характеристиками, реализованный

IP-блоком Xilinx занимает 334 логических элемента 5 блоков BRAM и 4 вычислительных блока DSP48.

### **Аппаратная реализация алгоритма слепого разделения сигналов на основе «системы на кристалле» при разнесённом приеме сигналов**

Тяпкин П.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В работе приведены результаты разработки и апробации программно-аппаратного тестового комплекса для исследования алгоритмов слепого разделения сигналов с разнесенным приемом на три антенны. Продемонстрированы особенности функционирования тестового комплекса и полученные результаты.

Задача разработанного тестового комплекса — исследование алгоритмов слепого разделения при разделении акустических сигналов различной формы из трёх смесей с помехами и шумами. Тестовый комплекс состоит из трёх приёмников сигналов, базовой станции и персонального компьютера. Одноканальные приемники реализованы по принципу программно-определяемой радиосистемы и состоят из цифрового MEMS-микрофона, системы на кристалле (СнК) Xilinx Zynq 7000, приемника глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) и приемопередатчика (трансивера) для передачи данных на базовую станцию. Базовая станция реализована на аналогичной аппаратной платформе, но осуществляет передачу данных из приёмников на персональный компьютер, где производится слепая обработка сигналов. СнК Xilinx Zynq 7000 включает в себя программируемую логику (PL) и процессорную систему (PS). В PL реализован прием сигнала, понижение частоты дискретизации, его обнаружение и фильтрация. В PS осуществляется прием данных из PL с привязкой сигналов в метке времени ГНСС и передача на базовую станцию посредством трансивера. Для передачи данных из PL в PS используется метод прямого доступа к памяти (Direct Memory Access, DMA). Для слепого разделения сигналов используется алгоритм FastICA. В качестве полезного сигнала рассмотрены сигналы амплитудной-, частотной- и линейно-частотной модуляции. Помехой являются импульсные шумовые и гармонические сигналы с различной скважностью.

В работе также проверена возможность осуществления слепого разделения принятых сигналов в процессорной части СнК, приведена оценка пропускной способности канала связи с разделением сигнала при подобной реализации.

Было проведено сравнение качества разделения сигналов, полученных при апробации разработанного тестового комплекса с имитационной моделью при аналогичных величинах отношения сигнал-шум и помеха-сигнал в каналах. Полученные результаты свидетельствуют о корректной работоспособности разработанного тестового комплекса.

### **Сравнение эффективности использования СКИ и ЛЧМ при обнаружении малоразмерной цели на фоне местных предметов**

Харламов А.Н., Курилова Д.О.

МАИ, г. Москва, Россия

Обнаружение малоразмерных целей на дальних расстояниях является актуальной задачей, решение которой возможно с помощью радиолокационного сканирования с использованием в качестве зондирующего импульса сверхкороткого импульса (СКИ) и сигналы с внутримпульсной модуляцией, например, ЛЧМ.

Внутримпульсная угловая модуляция позволяет снизить пиковую мощность передатчика и поднять энергетический потенциал радиолокационной системы.

Однако при использовании ЛЧМ возникает следующая проблема. После применения согласованной фильтрации в выходном сигнале помимо главного лепестка его сигнальной функции присутствуют еще и боковые лепестки. При обнаружении малоразмерной цели вблизи местного предмета с большой ЭПР это может явиться существенной трудностью, так как цель будет малоразличима в боковых лепестках радиолокационного отклика от местного предмета.

В данном докладе на экспериментальных данных рассматривается эффективность использования сверхкороткого импульса и ЛЧМ при обнаружении малоразмерной цели на фоне местных предметов. Критерием качества обнаружения будем считать отношение сигнал/помеха.

Проведенные полевые испытания позволили выявить отношение ЭПР обнаруживаемой цели и местного предмета при которых отношение сигнал/помеха между ними становится достаточным для обнаружения. Испытания проводились с использованием в качестве зондирующих импульсов ЛЧМ и СКИ. Проведено сравнение полученных результатов испытаний и моделирования.

Исследования проводились на базе макета сверхкороткоимпульсного широкополосного радиолокатора обзора земной поверхности, разработанного в МАИ.

Параметры используемых зондирующих сигналов:

ЛЧМ: ширина полосы частот – 120 МГц; длительность: 2 мкс.

Сверхкороткий импульс: длительность: 10 нс.

При использовании режима ЛЧМ данным радиолокатором, применена корреляционная обработка с использованием в качестве опорной функции оцифрованного зондирующего импульса передатчика. Для уменьшения уровня боковых лепестков использовалась весовая обработка с наложением окна Хэмминга. Расчет отношения сигнал-помеха в выбранной зоне вычислялся как отношение среднего значения уровня полезного сигнала с шумом и фоном к среднему значению уровня шума и фона.

В докладе приведены результаты экспериментов по сравнению отношения сигнал/помеха при зондировании малоразмерной цели вблизи яркого местного предмета при использовании сверхкороткого импульса и ЛЧМ с учетом влияния аппаратных искажений на полученные данные.

Литература:

1. Н.Г. Батулин, В.И. Гомозов, А.В. Зюзин. Измерение параметров линейно-частотно-модулированных сигналов и их нестабильностей. М.: Вузовская книга, 2011
2. А. В. Коновальцев, В. М. Нуждин, В. Н. Скосырев, А. Н. Харламов, Д. В. Кишко. Оценка фазовых искажений широкополосных ЛЧМ сигналов в аналоговом тракте радиолокатора. Сборник докладов III Всероссийской научной конференции «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике», июнь 2010г., с. 257-262

## 5. Ракетные и космические системы

### **Анализ конструкции узлов и агрегатов реабилитационной адаптационной системы медико-технического обеспечения и ее применения в условиях лунной гравитации**

Баранов М.С., Строгонова Л.Б., Юров И.Б.

МАИ, г. Москва, Россия

Система медико-технического обеспечения космических полетов является частью комплекса систем жизнеобеспечения и служит для обеспечения безопасности пилотируемого полета и, безусловно, выполнения полетного задания, обеспечивая поддержание навыков профессиональной деятельности.

В связи с изменением силы тяжести нарушается согласованное взаимодействие сенсорных систем, обеспечивающих процесс двигательного управления, значительные сдвиги возникают в состоянии исполнительного мышечного аппарата. В длительном пребывании в условиях измененной гравитации экипаж будет вынужден проводить некоторые реабилитационные мероприятия непосредственно в условиях обитаемой лунной базы для адаптации к неизвестным условиям обитания.

Предлагается разработка нетвердой опоры, позволяющая повысить эффективность восстановления и адаптации опорно-двигательного аппарата благодаря новой конструкции и материалам. Стабилоплатформа с биологической обратной связью позволяет повысить эффективность восстановительных мероприятий положения центра тяжести.

Основным компонентом реабилитационных программ на данном оборудовании является тренировка равновесия и баланса испытуемого в вертикальном положении. Механизм крепления стопы, обеспечивающий комфортное положение на поверхности нетвердой опоры и правильное положение центра тяжести, позволяют повысить при наличии вектора гравитации восстановление костной, мышечной и кровеносной систем нижних конечностей.

Использование тренировочных протоколов, в которые входят технологии биоуправляемой обратной связи не только способствует улучшению устойчивости, но и приводит к уменьшению асимметрии вертикальной позы и шага.

Разработанная математическая модель определения нагрузок позволит детально наблюдать временную характеристику восстановления биомеханической структуры нижних конечностей, что является актуальным решением медико-технической проблемы [1, 2].

Литература:

1. 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, 2022 г. С. 9-13.

2. Л.Б. Строгонова, Ю.А. Васин, М.С. Баранов, К.П. Сафронова, «Структура системы поддержки принятия решений (СППР) для медико-технического обеспечения обитаемой лунной базы». Научно-технический вестник Поволжья №6, 2023 г. С. 114-117.

### **Проектирование системы обеспечения теплового режима лунной базы в условиях эпистемической неопределенности параметров лунной среды**

Белявский А.Е., Кудрявцева Н.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Внешними условиями, влияющими на функционирование системы обеспечения теплового режима (СОТР) лунной базы, являются условия лунной среды. В настоящее время отсутствует достаточно количество достоверной информации о характеристиках лунной среды, и, поэтому, проектные решения принимаются в условиях параметрической неопределенности. Параметрическую неопределенность различают двух видов: алеаторную и эпистемическую в соответствии с наличием или отсутствием статистических данных. Для условий Луны статистические данные отсутствуют и, следовательно, имеет место эпистемическая неопределенность.

Предлагаются математические модели, алгоритмы и программы на основе теории неопределенности Баудина Лю, позволяющие учитывать эпистемическую неопределенность

в параметрах лунной среды при проектировании СОТР лунной базы. Рассмотрена трехкритериальная задача оптимизации радиационного теплообменника при минимизации массы системы и энергопотребления и максимизации надежности [1]. В качестве неопределенных параметров приняты: степень черноты излучающей поверхности радиационного теплообменника, температура эквивалентной космической среды, параметры распределения потока метеоритных частиц. Экспертом заданы для неопределенных параметров линейные функции распределения. Получены оптимальные значения проектных параметров радиационного теплообменника СОТР модуля лунной базы при степени достоверности неопределенных параметров 0,95.

### **Проект многоразовой воздушно-космической транспортной системы для доставки полезной нагрузки на низкую околоземную орбиту**

Бон А.Ф., Титов Д.М., Юров А.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Одним из основных и главных элементов современной аэрокосмической отрасли являются ракетносители, осуществляющие запуск полезной нагрузки на целевые орбиты. Однако на данный момент ракетносители, с учётом технологий многоразового использования разгонных блоков, практически исчерпали потенциал для дальнейшего совершенствования. Для эффективного освоения космического пространства, отправки исследовательских экспедиций на другие планеты солнечной системы, колонизаторских миссий на Марс, Луну, или иных планет или их спутников, освоение промышленной добычи полезных ископаемых с небесных тел, потребуются создание совершенно нового космического транспортного средства. Одним из возможных вариантов подобного транспортного средства может стать многоразовый воздушно-космический ракетоплан, способное перевозить на и с орбиты большой объем грузов и персонала со стоимостью выведения на орбиту (спуска с орбиты) значительно ниже существующих на сегодняшний день средств. Для обоснования необходимости и принципиальной возможности создания подобного транспортного средства, определения проектного облика ракетоплана в первом приближении необходимо провести анализ предлагавшихся ранее к разработке подобных проектов. Как результат, дано обоснование преимуществ предлагаемого проекта многоразового ракетоплана в сравнении с одно и многоразовыми ракетносителями, предложены критерии эффективности предлагаемой системы, выделен ряд схем возможной компоновки, определены направления дальнейшей проработки проекта.

### **Система измерения вольтамперной характеристики солнечной батареи космического аппарата**

Валиуллин В.В., Надирадзе А.Б.

МАИ, г. Москва, Россия

Оценка состояния работоспособности солнечных батарей (БС) космических аппаратов (КА) проводится по результатам измерения вольтамперных характеристик (ВАХ) [1]. Измерения ВАХ БС осуществляются до и после различных испытаний. Система измерения ВАХ БС состоит из управляемого устройства нагрузки и стойки автоматизации. Управляемое устройство нагрузки предназначено для нагружения батареи от режима холостого хода до режима короткого замыкания. Данное устройство состоит из управляемого генератора пилообразного напряжения, стабилизатора напряжения, усилителя мощности и модулей регистрации напряжения и тока БС. В свою очередь стабилизатор напряжения и усилитель мощности образуют источник стабильного тока. Запуск генератора пилообразного напряжения производится нажатием кнопки запуска на передней панели управляемого устройства нагрузки или подачей электронного сигнала от сенсорного панельного контроллера (СПК). На выходных клеммах управляемого устройства нагрузки выводятся аналоговые сигналы результатов измерения напряжения и тока БС.

Оцифровка аналогового сигнала результатов измерения напряжения и тока БС осуществляется через модуль аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) стойки автоматизации. Стойка автоматизации состоит из СПК, модулей АЦП и дискретного вывода

российского производителя контрольно-измерительных приборов ОВЕН. Оцифрованные данные передаются на СПК. Подача команды запуска измерения ВАХ батареи на управляемое устройство нагрузки производится через модуль дискретного вывода. Данные сохраняются и отображаются на СПК во время испытаний на вакуумной камере.

1. Карпенко А.В. Сидоров А.С. Устройство для измерения вольтамперной характеристики солнечных батарей при импульсной засветке. Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Технические науки. СибГАУ им. акад. М.Ф. Решетнева, Красноярск – 2012 – С. 39-40.

### **Проектирование гладкого топливного бака с криогенным компонентом топлива**

Васильев Ф.А., Егоров А.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Криогенные компоненты топлива в настоящее время являются перспективными для исследования, так как позволяют получать высокие энергетические характеристики летательных аппаратов. Однако, с учетом низких температур хранения и транспортировки данного вида топлива, необходимо учесть особенности конструкции бака для обеспечения надлежащей безопасности и надежности, а также минимум массы при заданном максимальном внутреннем давлении и температуры внутри бака.

Целью данной работы является проектирование гладкого бака для жидкого водорода с заданными габаритными размерами. Проектирование в себя включает: выбор материала, установление минимально допустимой толщины бака из условия герметичности, нахождение толщины цилиндрической обечайки, формы и толщины днищ из условия прочности.

Определение напряженно-деформированного состояния от воздействия разницы температур (напряжения захлаживания), а также от воздействия внутреннего давления 0,3 МПа проводится в программном комплексе Ansys методом конечных элементов с использованием конечных элементов типа SHELL181. Расчет ведется для двух случаев: температура окружающей среды 293 К и 4 К (космическое пространство). По результатам расчета эквивалентных напряжений определяется наиболее опасный случай, по которому выбираются толщины цилиндрической обечайки и днищ бака.

В результате выполненной работы выбран материал – алюминиевый сплав 1201, который сохраняет прочность при криогенных температурах, а также проведен расчет напряженно-деформированного состояния, вызванного внутренним давлением и разницей температур между внутрибаковым пространством и окружающей средой. Из расчета определена форма вылета свободного днища, а также толщины оболочки бака. Толщина цилиндрической обечайки и закрепленного днища составила 1,5 мм, а толщина свободного днища - 3 мм.

### **Необходимость внедрения ESG-принципов в систему управления предприятием**

Галкина Е.Е., Сорокин А.Е., Кабанов А.С., Дайнов М.И., Ковтун М.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Современный мир стремительно меняется. На фоне роста экологических проблем изменяются мировоззренческие приоритеты общества. Природа не знает границ, и достичь снижения загрязнения окружающей природной среды можно только совместными усилиями. Поэтому на международном уровне все большую популярность набирает внедрение ESG (environment, social, governance) - принципов в систему управления предприятием. Под ESG-принципами понимается ответственное отношение предприятия к экологическим и социальным вопросам, наряду с эффективным управлением.

В 2010 году Международной организацией стандартизации был разработан стандарт ISO 26000:2010 «Guidance on social responsibility», определяющий экономические, экологические и социальные задачи предприятия с точки зрения достижения устойчивого развития. Но, учитывают требования этого стандарта в своей практике, в основном, крупные предприятия, работающие на внешнем рынке. Переход на ESG-принципы необходим всем предприятиям для реализации программ, направленных на экологизацию производства и повышение социальной ответственности. В мире давно отмечается тенденция влияния реализации

социальных инициатив предприятий на успешность их работы. Например, результаты опросов молодых кадров показывают, что сегодня молодежь стремится работать в компаниях, ответственно относящихся к окружающей среде. Покупатели, приобретая товар, также учитывают выполнение предприятием, производящим этот товар, экологических требований, то есть эффективное решение экологических проблем влияет на успешность маркетинга продукции компании на рынке. Веским основанием включения ESG-принципов в работу предприятия является также то, что на сегодня многие международные банки переходят к стратегии финансирования компаний на основе анализа их экологической и социальной ответственности. Крупнейшие банки России планируют внедрение в процедуру выдачи кредитов критериев, учитывающих следование компаний ESG-принципам, и начинают учитывать положение компании в ESG-рейтинге.

Внедрение в практику работы предприятия принципов ESG-ответственности позволит предприятию увеличить продажи, на более выгодных условиях получать кредиты, привлекать и удерживать молодые кадры, повысить общую эффективность системы управления.

Литература:

1. Galkina E. E., Sorokin A. E., Quality Management and Sustainable Economic Development / Russian Engineering Research, 2020, Vol. 40, pp. 577–578, DOI: 10.3103/S1068798X2007014X.

2. 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.

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. Е. Е. Галкина, Е. В. Малько Представление открытой отчетности – элемент конкурентной концепции стратегического маркетинга / Вестник Московского авиационного института, Том 15, 2008, С. 45 – 49.

5. Галкина Е. Е., Дайнов М. И., Малько Л. И. Экологическая ответственность бизнеса и открытая отчетность как факторы, влияющие на конкурентоспособность продукции на рынке / Качество и жизнь № 3, 2018, С. 92 - 96.

## **Использование метода многократной стрельбы в задаче оптимизации межорбитальных траекторий с малой тягой**

Гостев А.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

Использование электроракетных двигателей (ЭРД) позволяет существенно повысить эффективность космических транспортных операций за счет высокого удельного импульса, приводящего к существенному снижению требуемых затрат топлива. Однако, существует ряд фундаментальных проблем при расчете и оптимизации траекторий космических аппаратов (КА) с ЭРД, которые, так или иначе связаны с малой величиной тяги ЭРД. Одной из проблем является недостаточно хорошая вычислительная устойчивость существующих методов оптимизации таких траекторий и большие вычислительные затраты, требуемые для решения задачи [1]. При проведении проектно-баллистического анализа перспективных космических миссий требуется расчет и оптимизация множества вариантов траекторий, поэтому задачи повышения вычислительной устойчивости, быстродействия численных методов оптимизации, автоматизация процесса вычисления являются актуальными и напрямую влияют на качество результатов проектно-баллистического анализа.

Целью исследования является повышение эффективности космических транспортных операций за счет разработки новых устойчивых и быстродействующих методов оптимизации траекторий КА с ЭРД.

В работе сформулирована постановка задачи оптимизации траектории межорбитального перелета КА с использованием метода многократной стрельбы [2], представлены условия непрерывности фазовых и сопряженных переменных на границах интервалов

интегрирования. Используются непрямой подход к оптимизации траекторий, основанный на использовании необходимых условий оптимальности в форме принципа максимума Л.С. Понтрягина [3, 4], метод непрерывного продолжения по параметру (гомотопический метод) [4], методы численного интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений [5]. Представлен сравнительный анализ вычислительных затрат при оптимизации траекторий КА с идеально регулируемым двигателем с использованием и без использования метода многократной стрельбы. Полученные результаты позволяют рассчитывать на повышение вычислительной устойчивости и увеличение скорости сходимости вычислений для определения многовитковых оптимальных траекторий КА с двигателем ограниченной тяги (в задаче минимизации затрат топлива КА) при использовании комбинации методов многократной стрельбы и непрерывного продолжения по параметру.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00329, <https://rscf.ru/project/22-19-00329/>.

Литература:

1. Петухов В.Г. Применение угловой независимой переменной и ее регуляризирующего преобразования в задачах оптимизации траекторий с малой тягой // *Космические исследования*, 2019, том 57, № 5, с. 373-385.

2. Григорьев И.С. Методическое пособие по численным методам решения краевых задач принципа максимума в задачах оптимального управления. М.: Издательство Центра прикладных исследований при механико-математическом факультете МГУ, 2005, 159 с.

3. Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.В. Гамкрелидзе, Е.Ф. Мищенко. Математическая теория оптимальных процессов, – 4-е изд. – М.: «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 392 с.

4. Петухов В.Г. Оптимизация многовитковых перелетов между некомпланарными эллиптическими орбитами // *Космические исследования*, 2004, том 42, № 3, с. 260-279 (*Cosmic Research*. p. 250).

### **Ударный стенд для отработки ЛА с пароводяным разгонным устройством**

Гусев Е.В., Пронкин А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В ходе эксплуатации объектов ракетно-космической техники часто возникают ситуации, когда на них действует сильная механическая нагрузка. Данная нагрузка способна привести к серьезным перегрузкам. В свою очередь, эти перегрузки оказывают воздействие как на структурные компоненты аппарата, так и на его приборы и полезную нагрузку.

Для того чтобы выполнялась нормальная работа систем, используемых в космическом аппарате, и компонентов космического устройства в условиях высокой механической нагрузки, проводится экспериментальная отработка на специальных стендах. Эти стенды позволяют изучить как модель, так и реальный образец. С помощью них мы можем узнать, как будет вести себя исследуемый объект в условиях перегрузок. К примеру, для изучения подповерхностных слоев Луны и Марса предлагается использовать проникающие зонды, известные как пенетраторы, которые могут быть запущены с посадочных аппаратов.

Во время спуска пенетратор, оснащенный приборным отсеком, накапливает кинетическую энергию и использует ее для того, чтобы проникнуть в грунт планеты на определенную глубину. Стоит отметить, что необходимо ограничивать скорость вхождения пенетратора в грунт таким образом, чтобы не причинить вред приборному отсеку в результате действующей перегрузки.

Рассмотрим подробно стенд, на котором проводился эксперимент. На стенде установлена вертикальная шахта высотой  $L=62$  м. При ударе по грунту к раме прикрепляется пенетратор, общая масса которого составляет приблизительно  $m_0 = 100$  кг. Сразу после удара верхняя часть пенетратора остается на поверхности, а нижняя часть (масса около  $m_{твн}=10-15$  кг) врезается в грунт. Для разгона системы рама-пенетратор используется упругий жгут, который предварительно натягивается с помощью канатов, электродвигателя, лебедки и системы блоков. Это делается так, чтобы рама с пенетратором находилась в самой верхней

точке шахты. Максимальная скорость, которая достигается в конце разгонного участка составляет  $V_{вх} = 100$  м/с.

В работе делается акцент на использовании пароводяных ракетных двигателей, так как они имеют преимущества перед ракетными двигателями твердого топлива (РДТТ). Рассмотрим несколько преимуществ: 1) Простота устройства. Пароводяные ракетные двигатели имеют более простую конструкцию по сравнению с ракетами на твердом топливе; 2) Экологичность и пожаробезопасность; 3) Дешевизна и доступность рабочего тела; 4) Многократное использование и универсальность. Пароводяные ракеты могут быть спроектированы для многократного использования, и их устройство можно адаптировать для работы с разными источниками энергии.

В данной работе отмечены преимущества пароводяных ракетных двигателей по сравнению с РДТТ. Рассмотрен вариант использования на ударном стенде пароводяного двигателя и РДТТ, проведены соответствующие расчеты основных параметров для данных типов двигателей.

Литература:

1. Выбор параметров рабочего процесса в пароводяных разгонных устройствах ударных стендов для исследования характеристик пенетраторов / В. В. Родченко, А. Г. Галеев, Ю. В. Захаров, Е. В. Гусев // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 22(162). – С. 12-23. – DOI 10.15518/iseae.2014.22.001. – EDN TGFTIR.

2. Золотов, А. А. Прикладные задачи обеспечения надежности при разработке аппаратов ракетно-космических систем / А. А. Золотов, В. В. Родченко, Е. В. Гусев. – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2023. – 160 с. – ISBN 978-5-4316-1057-8. – EDN YLRZVW.

## **Система стандартизации в ракетно-космической отрасли**

Ермилина Д.В., Новиков И.С.

Госкорпорация «Роскосмос», г. Москва, Россия

Стандартизация является основой для проектирования, производства и эксплуатации качественной ракетно-космической техники. В техническом задании на НИОКРы по созданию ракетно-космической техники, путем указания в них конкретных стандартов, устанавливаются требования на изделия ракетно-космической техники, процессы её проектирования

и производства, требования к испытаниям и т.д.

Функции по организации стандартизации ракетно-космической техники законодательно возложены на Госкорпорацию "Роскосмос". Госкорпорация "Роскосмос" является полноценным субъектом стандартизации и реализует свои полномочия по всему спектру направлений от национальной и международной до отраслевой и корпоративной стандартизации.

Работы по национальной стандартизации осуществляются в рамках технического комитета 321 "Ракетно-космическая техника".

Представители Госкорпорации "Роскосмос" возглавляют российские делегации, участвующие в работе подкомитетов ИСО ТК 20 "Авиационная и космическая техника". Работа направлена на установление отечественных требований к ракетно-космической технике в международных стандартах, что позволяет формировать направление развития международной стандартизации с учетом интересов Российской Федерации.

Ключевую роль в ракетно-космической отрасли играют отраслевые стандарты. На сегодняшний день в фонде документов по стандартизации Госкорпорации "Роскосмос" содержится 3837 действующих отраслевых стандартов. Важнейшей задачей в части отраслевой стандартизации является поддержание высокого уровня актуализации. Госкорпорация "Роскосмос" поддерживает высокий темп актуализации фонда не ниже 15% в год, при установленном Правительством Российской Федерации уровне 10%.

В целях ускоренного внедрения на предприятиях ракетно-космической отрасли новых требований к технике и процессам ее создания Госкорпорацией "Роскосмос" создана корпоративная система стандартизации. Стандарты Госкорпорации "Роскосмос"

разрабатываются, как правило, непосредственно в ходе выполнения опытно-конструкторских работ по созданию новых образцов техники и содержат самые современные требования к технике и процессам. Срок разработки и утверждения стандарта в настоящее время составляет 6 месяцев. Новые стандарты внедряются на предприятиях отрасли и проходят апробацию. Такой подход позволяет в ракетно-космической отрасли решать задачу опережающего нормирования.

Проводимая работа по стандартизации обладает высокой значимостью только при условии своевременной осведомленности отрасли о разрабатываемых и актуализируемых документах. В этой связи 4 раза в год издаются и доводятся до организаций ракетно-космической отрасли информационный указатель документов по стандартизации ракетно-космической техники и сводный перечень документов по стандартизации оборонной продукции с учетом изменений, а также ежегодно актуализируются аннотированные перечень документов по стандартизации ракетно-космической техники и указатель международных стандартов на космическую технику.

Решаемые в части стандартизации задачи позволяют создавать прочную основу для проектирования, производства и эксплуатации высокотехнологичной и качественной ракетно-космической техники.

### **К вопросу о разработке программы полёта современных орбитальных станций на уровне тактического планирования**

<sup>1</sup>Железнов И.В., <sup>1</sup>Уперчук Р.А., <sup>2</sup>Филиппов И.М.

<sup>1</sup>Самарский университет, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>РКК «Энергия», г. Королёв, Россия

В работе проанализированы годовые программы полёта современных орбитальных станций, разработанной на уровне тактического планирования. На этом этапе опытно-конструкторской работы предлагается учитывать нештатные ситуации, которые могут привести к досрочному завершению полёта орбитальной станции.

На сегодняшний день парирование практически всех нештатных ситуаций осуществляется с помощью имеющихся на борту станции запасных частей, инструментов, принадлежностей (ЗИП) и топлива или доставкой необходимого оборудования на следующем транспортном корабле. На примере Международной космической станции доставка потерянных в ходе нештатной ситуации грузов также может быть осуществлена участниками проекта по договорённости [1].

В случае развертывания национальных орбитальных станций, например, «Тяньгун» и «МИР», актуален вопрос о последовательности запуска изделий, так как осуществление первой пилотируемой экспедиции сопровождается высокими рисками в связи с ограниченными запасами топлива и ЗИП на борту первого модуля станции.

При разработке программы полёта современной орбитальной станции на уровне тактического планирования последовательность запуска изделий, которыми могут являться пилотируемые или грузовые транспортные корабли, а также следующий по сценарию развертывания орбитальной станции модуль, предлагается определять с применением теорий графов [2].

В рамках работы были рассмотрены различные варианты последовательности запуска модулей и кораблей к станции, представленные в форме графа. Применение алгоритма Дейкстры позволило выявить особенность, заключающуюся в целесообразности запуска грузового транспортного корабля или следующего по сценарию развертывания орбитальной станции модуля при наличии на борту станции экипажа и аппаратуры для реализации телеоператорного режима управления на случай невозможности автоматической стыковки.

При учёте дополнительных критериев, в том числе стоимости доставки полезного груза на грузовых и пилотируемых транспортных кораблях, решение о последовательности запуска изделий может быть уточнено исходя из приоритета критериев.

Литература:

1. Хронология полётов на Международную космическую станцию [Электронный ресурс] – URL: <https://www.energia.ru/ru/iss/chron/chron2022.html> (дата обращения 01.10.2023)

2. Додонова, Н.Л. Теория графов и ее приложения [Электронный ресурс]: электрон. учеб.-метод. комплекс по дисциплине в LMS Moodle / Мин-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац.исслед. ун-т); авт.-сост. Н.Л. Додонова. - Электрон. текстовые и граф. дан. - Самара, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

### **Методика поддержания геометрически устойчивых солнечно-синхронных орбит с помощью электроракетных двигателей**

Жуков Г.Е., Ельников Р.В.  
МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время геометрически устойчивые солнечно-синхронные орбиты широко используются на практике для космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли, поскольку для этих орбит практически отсутствует изменение профиля геодезической высоты полета КА от витка к витку. Однако, при длительных сроках активного существования под действием возмущающих факторов профиль орбиты может терять свойство геометрической устойчивости. Разработанная методика, представленная в работе, позволяет решить данную проблему.

В докладе дается методика определения параметров геометрически устойчивой орбиты, эволюционирующей под действием возмущений, вызываемых работой корректирующей двигательной установки (КДУ), необходимой для компенсации аэродинамического сопротивления КА, а также нецентральной гравитационного поля Земли. Анализ движения КА осуществляется в рамках метода оскулирующих элементов орбиты при учете первых семи зональных гармоник разложения гравитационного потенциала Земли. Предполагается, что вектор тяги электроракетной КДУ на активных участках движения в каждый момент времени направлен по трансверсали. Расположение и длительность активного участка на витке предполагается заданной.

Нахождение оскулирующих параметров геометрически устойчивой орбиты в восходящем узле сводится к численному решению двухточечной краевой задачи, выбираемыми параметрами которой являются значения компонент эксцентриситета в узле, а краевыми условиями — их приращения за виток, которые обнулялись с заданной точностью.

Полученные численные результаты показали работоспособность предложенного подхода, а также иллюстрируют некоторые качественные выводы, касающиеся эволюции рассмотренного класса орбит.

Литература:

1. Кугасенко Б.В., Эльясберг П.Е. Эволюция почти круговых орбит ИСЗ под влиянием зональных гармоник. Космические исследования, 1968, т. VI, вып. 2, с. 186–202.
2. Виноградов Д.Ю., Давыдов Е.А. Методика формирования устойчивых околокруговых солнечно-синхронных орбит при длительных сроках существования космического аппарата. Инженерный журнал: наука и инновации, 2017, вып. 6.
3. Dirk Brouwer: «Solution of the Problem of the Artificial Satellite Without Drag», *Astronomical Journal*, 64 (1959)
4. М.С. Константинов, Е.Ф. Каменков, Б.П. Перельгин, В.К. Безвербый; Под. ред. В.П. Мишина. Механика космического полета: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1989.

### **Влияние кодировки искомых параметров на сходимость генетического алгоритма при расчете характеристик теплозащитного покрытия**

Зайцев М.Д., Артемов Е.А., Борисенко И.А., Ивашиненко М.О., Нетелев А.В.  
МАИ, г. Москва, Россия

При создании современных образцов аэрокосмической техники часто приходится сталкиваться с вопросами проектирования элементов конструкций, подвергающихся интенсивному тепловому воздействию. Для построения цифровой модели таких элементов конструкции важно использовать адекватную математическую модель теплопереноса, достоверность которой будет определяться в том числе и коэффициентами математической модели. В самом простейшем случае это коэффициенты теплоемкости и теплопроводности. В промышленности для расчета этих коэффициентов используются аппаратные методы –

метод тонкой проволоки, метод лазерной вспышки и ДСК методы. Так же хорошо себя зарекомендовали методы расчета коэффициентов модели, основанные на решении обратной задачи теплопереноса. Их преимуществом является то, что они позволяют определить комплекс нелинейных характеристик (коэффициентов) из данных только одного эксперимента.

В работе представлены результаты исследования влияния методов кодировки на сходимость решения коэффициентной обратной задачи теплопереноса, используя метод, основанный на генетическом алгоритме. Генетические алгоритмы относятся к классу эвристических алгоритмов и не дают гарантии нахождения глобального экстремума. Основными операциями в алгоритме на основе генетического метода являются кроссбреддинг (скрещивание) и мутация. Операция кроссбреддинга позволяет локализовать решение в области одной из точек экстремума, постепенно приближая его к точному решению. Операция мутации позволит отыскать другие экстремумы, не охваченные операцией кроссбреддинга. При этом искомое решение ищется в виде генетического кода. Для этого его записать представить в двоичном представлении. Способ кодировки так же может оказывать влияние на скорость сходимости решения. Например, код Грея будет более устойчив к мутации, т.к. при его использовании две «соседние» кодовые комбинации имеют минимальное Хемингово расстояние равное 1. В этом случае мутация не окажет или может оказать слабое влияние на результаты расчета на итерации. Такая кодировка будет эффективна в случае, если решение локализовалось в районе глобального экстремума. Оценка эффективности проводилась с помощью математического ожидания количества итераций необходимых для достижения точного решения.

#### **Проектирование траектории перелёта к точкам либрации системы Солнце – Венера с использованием двигателей большой и малой тяги**

<sup>1</sup>Иванюхин А.В., <sup>2</sup>Русанова Н.А.

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>РУДН, г. Москва, Россия

Точки либрации системы Солнце-Венера и орбиты в их окрестности могут быть использованы для размещения обсерваторий по изучению Солнца и наблюдения околосолнечного пространства [1,2]. Движение в их окрестности обусловлено влиянием Солнца и Венеры, а также сильно возмущено эллиптичностью орбиты Венеры и другими массивными телами солнечной системы [3]. Что приводит к необходимости рассмотрения сложных моделей движения.

В работе рассматривается проектирование траектории перелёта космического аппарата (КА) с электроракетной двигательной установкой (ЭРДУ) малой тяги к точкам либрации системы Солнце-Венера. Для отлёта с низкой околоземной орбиты предполагается использование разгонного блока (РБ), оснащённого двигателем большой тяги. Сформулирована задача перелёта с использованием двигателей большой и малой тяги: участок работы большой тяги рассматривался в импульсном приближении, включение двигателя малой тяги предполагалось только в конце траектории перелёта, при этом использовался параметрический закон управления с постоянной ориентацией вектора тяги в орбитальной системе координат. Проведена оптимизация параметров управления двигателем малой тяги и значения отлётной импульса скорости. Движение КА рассматривается в рамках эфемероидной модели четырёх тел на всех участках траектории перелёта.

Приведены примеры траекторий перелёта к точкам либрации L3, L4, L5 системы Солнце-Венера. Рассмотрена возможность реализации парного запуска аппаратов с использованием одного РБ для отлёта от Земли.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10206, <https://rscf.ru/project/22-79-10206/>.

Литература:

1. Wang Sang Koon, M. W. Lo, J.E. Marsden, S.D. Ross, Dynamical Systems, the Three-Body Problem and Space Mission Design. Springer New York, 2017, 400 p.

2. R. Biesbroek, Lunar and Interplanetary Trajectories. Springer International Publishing, 2016, 234 p.
3. В. Себехей, Теория орбит: ограниченная задача трех тел. М.: Наука, 1982, 655 с.

### **Использование метода генетических алгоритмов для исследования свойств теплозащитного покрытия**

Ивашиненко М.О., Борисенко И.А., Нетелев А.В.  
МАИ, г. Москва, Россия

В работе представлены результаты расчета теплофизических свойств материала с помощью решения коэффициентной обратной задачи, используя метод, основанный на генетическом алгоритме. Большинство классических методов решения обратных задач основано на поиске решения посредством минимизации целевого функционала невязки расчетных и экспериментально измеренных температур. Такой подход подразумевает использование достаточно сложного математического аппарата для расчета производных целевого функционала. При решении инженерных задач, когда сложная структура задачи или ее иерархичность не позволяют рассчитать производные целевого функционала, для получения решения может быть использован генетический алгоритм оптимизации. Генетический алгоритм относится к эвристическим алгоритмам оптимизации, концепция которого основана на естественном отборе в биологических системах. Особенностью генетического алгоритма является то, что он не гарантирует нахождения глобального решения, которое может быть найдено только путем перебора. Однако использование генетического алгоритма позволяет получить «ближкое по точности решение» за существенно меньшее время, чем при использовании метода перебора.

Был разработан программный комплекс для определения теплофизических свойств материала. В качестве неизвестных характеристик рассматривались коэффициенты теплоемкости и теплопроводности в задаче теплопереноса в твердом теле. Стоит отметить, что разработанный комплекс является универсальным и может осуществлять оптимизацию других, сходных по структуре, задач.

Разработанный программный комплекс подтвердил свою работоспособность при нахождении одной постоянной неизвестной характеристики материала, двух постоянных характеристик и двух характеристик, являющихся функциями температуры. Работоспособность метода и разработанного на его основе комплекса определялась при обработке данных модельного эксперимента. Оценка эффективности вариантов комплекса осуществлялась путем расчета математического ожидания числа итераций, на которых выполнялись условия точности сходимости решения.

1. Алифанов О.М., Артюхин Е.А., Румянцев С.В. Экстремальные методы решения некорректных задач и их приложения к обратным задачам теплообмена, М.: Наука, 1988, - 288с.
2. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1986, 288с.
3. Панченко Т. В. Генетические алгоритмы, -- Астрахань: -- Издательский дом «Астраханский университет», 2007. – 87с.
4. Goldberg David E. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Professional, 13th ed. Edition, 1989, 432 pages.
5. Chambers Lance D. The Practical Handbook of Genetic Algorithms. Chapman and Hall/CRC, Second Edition, 2000, 544 pages.
6. Coley David A. Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers. World Scientific Publishing, 1999, 244 pages

## **Двухмодельный метод решения обратных задач теплообмена для идентификации модели катушки из высокотемпературного сверхпроводника**

Ильин В.В., Моржухина А.В., Викулов А.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

При построении виртуальной (имитационной) теплофизической модели необходимо учитывать зависимость теплопроводности и теплоёмкости от температуры. Данную зависимость можно получить при идентификации этих свойств по функциям температуры конструктивных элементов от времени, определённых экспериментально. Целесообразно использовать двухмодельный метод, так как идентификация свойств подробной математической модели с плотной объёмной или поверхностной сеткой затруднена большим количеством узлов и связанных с ними уравнений. При использовании двухмодельного метода в соответствие основной модели ставится упрощённая, построенная для определённого участка подробной модели. В этом случае упрощённая модель может быть одномерной или в сосредоточенных параметрах, что вполне оправдано при соблюдении соответствующих условий проведения эксперимента.

Существуют ситуации, когда значение функционала, включающего в себя критерий адекватности модели реальному процессу, затраты ручного труда при алгоритмизации расчёта и составлении программы, затраты машинного времени и т. п., оказывается недостаточно малым, какая бы модель ни была выбрана в качестве рабочей. В таких случаях при решении обратных задач теплообмена может оказаться полезным использование двухмодельного алгоритма, который позволяет при заданной степени адекватности снизить трудоёмкость вычислений и затраты машинного времени.

В используемом двухмодельном методе одна модель с распределёнными или сосредоточенными параметрами является подробной моделью, а другая модель со сосредоточенными параметрами ставится в соответствие первой для идентификации определенных функций. Тогда вспомогательная модель идентифицируется два раза: первый – по подробной математической модели, а второй – по натурной модели. Идентифицированные функции подробной модели выражаются произведением неидентифицированных функций этой модели на частное соответствующих функций вспомогательной модели, идентифицированных по натурной и подробной математической моделям.

Литература:

1. Балаковский С.Л., Дилигенский Н.В. О двухмодельном итерационном методе решения граничной обратной задачи теплообмена // ИФЖ. 1989. Т. 56. №2. С. 313-319.
2. Балаковский С.Л. Решение обратных задач теплообмена двухмодельным методом // ИФЖ. 1989. Т. 57. №3. С. 500-503.

## **Выбор оптимальных параметров технического обслуживания и показателей надежности ракетно-космических систем, функционирующих на кислородно-водородном топливе**

Карягин И.А., Гусев Е.В., Марюшина З.Л.

МАИ, г. Москва, Россия

Создание стартового комплекса на космодроме «Восточный» для обеспечения запусков ракет космического назначения семейства «Ангара» нового поколения (Ангара-А5В», «Ангара-А5П»), функционирующих на пожаро- и взрывоопасных компонентах ракетного топлива: жидкий кислород и керосин на первых ступенях, жидкие кислород и водород на верхних и разгонных ступенях, требует использования средств автоматизации и диагностики в системах главных сооружений (мобильная башня обслуживания, транспортировка и установка ракеты на стартовый комплекс, заправка и др.), в процессах подготовки и проведения пуска. Это, в свою очередь, требует решения актуальной задачи обеспечения высоких степеней готовности и показателей надежности сложной технической системы наземного комплекса космодрома и внедрения методики оптимизации параметров технического обслуживания и показателей безотказности сложной технической системы в практику эксплуатации стартового комплекса.

Авторами статьи рассмотрены вопросы согласованной оптимизации параметров технического обслуживания и показателей безотказности сложных технических систем стартового комплекса и ракетных систем.

В докладе рассмотрены алгоритмы проведения расчетов обоснования периодичности проведения замен элементов оборудования, уровней интенсивности возможных отказов и проведения ремонтно-восстановительных работ сложных технических систем стартовых комплексов космодромов с учетом современных технических возможностей. Показано, что автоматизация процесса технического обслуживания позволяет значительно повысить коэффициент готовности при подготовке и проведении пусков ракетно-космических систем на стартовом комплексе.

Полученные в результате проведенных расчетов результаты позволят повысить надежность и безопасность проводимых работ такими взрыво- и пожароопасными компонентами ракетного топлива как: жидкими кислородом, водородом и керосином при запуске перспективных ракет космического назначения семейства «Ангара» на стартовом комплексе космодрома «Восточный».

1. Афанасьев В.Г., Зеленцов В.А., Мионов А.Н. Методы анализа надежности и критичности отказов сложных систем.–М.:МО РФ,1992.–99 с.

2. Баранов Л.Т., Гарюнов В.И., Петров Г.Д./Совершенствование информационного обеспечения эксплуатации космических средств на основе внедрения мониторинга технического состояния//Известия вузов.Приборостроение.2000.Т.43,№8. с.86-90.

3. Байхельт Ф., Франкен.П. Надежность и техническое обслуживание.Пер.с нем.–М.:Радио и связь,1988.

4. Галеев А.Г., Золотов А.А., Перминов А.Н, Родченко В.В. Эксплуатация стартовых комплексов ракетно-космических систем.–М:Изд-во МАИ,2007.

5. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике.Анализ видов,последствий и критичности отказов.–М.:Издательство стандартов,1997.–19 с.

6. Гарюнов В.И. Показатели безопасности эксплуатации КСр. Задание и оценивание. – СПб: ВИКА, 1993. – 60 с.

7. ГОСТ 27.504-84. Методы оценки показателей надежности по цензурированным выборкам. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 41 с.

8. Золотов А.А., Оделевский В.К., Родченко В.В., Черников А.И. Прикладные методы и алгоритмы обеспечения надежности и безопасности технических систем на этапе их разработки и эксплуатации. – М.: Изд-во МАИ, 2013.

9. Галеев А.Г., Золотов А.А., Перминов А.Н., Родченко В.В. Эксплуатация испытательных комплексов ракетно-космических систем. – М: Изд-во МАИ, 2007.

## **Применение технологии электронно-лучевой обработки материалов при изготовлении деталей двигателей**

Колобов М.А.

АО «КБХА», г. Воронеж, Россия

Для достижения правильной работы жидкостного ракетного двигателя необходима подача чистого окислителя и топлива в форсунки и другие агрегаты без инородных включений. Незащищенность агрегатов подачи топлива от попадания твердых частиц в форсунки, зазоры между вращающимися крыльчатками и особенно по магистралям окислителя, может спровоцировать местные возгорания конструкции и его разрушению.

Для предотвращения подобных отказов ЖРД применяют фильтры, используемые на различных элементах двигателя, с диаметром проходных отверстий от 0,2 до 0,3 мм с шагом от 2d, которые обеспечивают заданное гидродинамическое давление и не пропускают посторонние частицы.

Отверстия малого диаметра используются во многих деталях современных машин и их агрегатов. Их получают различными способами: сверлением, электроэрозионной, электрохимической, ультразвуковой и струйно-абразивной видами обработки. Каждый из перечисленных методов имеет свои достоинства и недостатки, обусловленные их технологическими особенностями.

Перфорация электронным лучом представляет собой наиболее оптимальный (по совокупности факторов), современный способ получения отверстий. Установки для перфорации созданы на базе электронно-лучевой установки для сварки, с дополнением в виде управляющего компьютера, для точного позиционирования манипулятора с заготовкой под электронным лучом.

Электронно-лучевая перфорация основана на технологии кратковременного воздействия луча на поверхность заготовки, и имеет ряд преимуществ по сравнению с «классическими» технологиями: высокая скорость обработки; отсутствие окисления; малая зона термического влияния; широкая номенклатура обрабатываемых материалов; возможность обработки твердых материалов и заготовок сложной формы;

К недостаткам данного метода обработки можно отнести высокую стоимость оборудования, обязательную высокую квалификацию, длительную сушку подложки, откачку вакуума.

При изготовлении фильтров сложного профиля или деталей, выполненных в виде тел вращения, с большим количеством отверстий, применяемый способ электроннолучевой перфорации заготовок различного размера и профиля является единственным и безальтернативным вариантом изготовления деталей данного класса, обеспечивая заданные параметры гидравлического сопротивления, высокую степень очистки топлива и окислителя, высокую производительность обработки заготовок, стабильный выход годной продукции.

Литература:

1. Данилевский В. В. Технология машиностроения: Учебник для техникумов – 5-е изд., перераб. и доп. – М., Высш. шк., 1984. – 416 с., ил.

2. Журнал «РИТМ машиностроения» 5-2020 – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ritm-magazine.com/ru/public/sovremeniye-tehnologii-obrabotki-otverstiy-malogo-diametra>.

3. Патент № 2712600 Российская Федерация, МПК В01D 39/12 (2006.01), В01D 27/06 (2006.01), В01D 29/11 (2006.01) Способ изготовления металлического многослойного фильтра и устройства для его осуществления: № 2018133369: заявл. 20.09.2018: опубл. 29.01.2020 / Смоленцев В. П., Широкожухова А. А., Шаров Ю. В. – 20 с.: ил. – Текст: непосредственный.

### **Экспериментальная деятельность на борту российского сегмента МКС**

Корсаков С.В., Смирнов В.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

Экспериментальная деятельность на борту Российского сегмента Международной космической станции (МКС) охватывает разнообразные области: физико-химические процессы и материалы в условиях космоса; исследование земли и космоса; медико-биологические эксперименты; космическую биотехнологию; исследование солнечной системы; технические исследования и эксперименты; исследования физических условий на орбите МКС [1].

Во время экспедиции «Союз МС-21» («С.П. Королев») с экипажем 67-й длительной экспедиции — космонавтов Госкорпорации «Роскосмос» Олега Артемьева, Дениса Матвеева и Сергея Корсакова (с 18.08.2022 по 29.09.2022) было проведено 811 сеансов 45 экспериментов, связанных с космической биологией и физиологией, космическим материаловедением, исследованием Земли из космоса, отработкой перспективных космических технологий и прочих [2].

Особенностью космических экспериментов является их проведение в условиях микрогравитации и космического излучения, а также возможности использования глубокого вакуума, что позволяет изучать явления, недоступные на Земле [3].

Космические эксперименты имеют важное значение для развития науки и технологии, а также для подготовки к долгосрочным космическим миссиям, включая планы освоения Луны и Марса [4].

Перспективы космических экспериментов на станции РОС (Российская орбитальная станция) включают расширение спектра исследований за счет изменения наклона орбиты

и отсутствия международных правовых ограничений, имеющимся в проекте Международной космической станции [5].

Порядок планирования и проведения экспериментов на МКС включает формирование заявочной документации, программную интеграцию, наземную подготовку, бортовую реализацию, анализ результатов и их внедрение [6].

Литература:

1. Долгосрочная программа целевых работ, планируемых на МКС до 2024 года. Дополнение 2021 года. // ЦНИИМАШ: офиц. сайт. – URL: <https://tsniimash.ru/upload/030/ДПЦР%202021%20фин.pdf> (дата обращения: 03.11.2023).

2. Краткий обзор. Основные задачи экспедиции МКС-67. // ЦНИИМАШ: офиц. сайт. – URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/research-program/ISS-67/?ysclid=loi8zhp5ec801223093> (дата обращения: 03.11.2023).

3. Положение о порядке планирования и проведения целевых работ на Международной космической станции (Положение ЦР-МКС). // ЦНИИМАШ: офиц. сайт. – URL: <https://tsniimash.ru/upload/030/Положение%20о%20ЦР-МКС.pdf> (дата обращения: 03.11.2023).

4. Секция 1. Космическая биология и физиология // ЦНИИМАШ: офиц. сайт. – URL: [https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/about-cnts/section/space\\_biology\\_and\\_physiology/](https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/about-cnts/section/space_biology_and_physiology/) (дата обращения: 03.11.2023).

5. Олег Орлов. Ученые хотят проводить длительные миссии на РОС // РИА Новости: офиц. сайт. – URL: <https://ria.ru/20220822/orlov-1811222576.html?ysclid=loj7ikwy14711351974> (дата обращения: 03.11.2023).

6. ГОСТ Р 52017-2003. Аппараты космические. Порядок подготовки и проведения космического эксперимента.

#### **Метод исследования динамики атмосферы Венеры с помощью планирующего зонда**

<sup>1</sup>Любезный Б.В., <sup>2</sup>Воронцов В.А., <sup>1</sup>Хмель Д.С.

<sup>1</sup>АО «НПО Лавочкина», г. Химки, Россия

<sup>2</sup>МАИ, г. Москва, Россия

Практика исследования Венеры показала актуальность и целесообразность создания зондов, предназначенных для длительного нахождения в атмосфере планеты. Впервые в мировой практике запуск зондов аэростатного типа в атмосферу Венеры состоялся в ходе осуществления проекта «Вега» 11 и 15 июня 1985 года. Аэростаты полностью выполнили запланированную программу полёта, подтвердив практическую реализуемость выбранной концепции.

Тем не менее, возможности аэростатных зондов ограничиваются возникающими техническими проблемами (в частности – имеющейся газопроницаемостью оболочки баллона).

Планирующий зонд «Ветролет» предназначен для проведения комплексных научных исследований в атмосфере Венеры в процессе длительного дрейфа. «Ветролет» дрейфует в атмосфере Венеры за счет использования аэродинамического устройства. Атмосферный зонд состоит из двух аэродинамических поверхностей – планирующего и тормозного парашюта, соединенных между собой длинным тросом. Функционирование «Ветролета» в атмосфере осуществляется за счет естественных условий, а именно – наличия постоянного сильного ветра и градиента ветра, меняющегося по высоте. Исходя из принципа функционирования системы, желательнее, чтобы ввод ее в действие был осуществлен в области максимальных атмосферных градиентных течений.

При этом, для обеспечения надежного функционирования систем, должны быть также учтены ограничения, накладываемые внешними условиями, такими как высокая температура и давление окружающей среды, конденсация серной кислоты на элементах системы и т. п.

В докладе приведено уравнение движения данного планирующего зонда для исследования Венеры, дополненное уравнениями, описывающими состояние атмосферы.

Литература:

1. Воронцов В.А., Малышев В.В., Пичхадзе К.М. Системное проектирование космических десантных аппаратов // Изд-во МАИ 2021. 256 с.
2. Соболев И.А. Анализ проектных характеристик атмосферных зондов змейкового типа (ветролётов) для изучения атмосферы Венеры // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2017. № 4. С. 108-115
3. Грумондз В.Т., Семенчиков Н.В., Яковлевский О.В. Аэродинамика дирижабля – М.: Наука, 2017. – 424 с.
4. Разработка математического и программного обеспечения для решения задач посадки на спутник Юпитера Европу и движения атмосферных зондов в атмосфере Венеры. Малышев В.В., Усачов В.Е., Сахаров В.И. Отчет о научно-исследовательской работе. МАИ. 2010 г
5. Проектные решения для атмосферных планетных зондов. / Воронцов В. А., Любезный Б.В. // Доклад на 20-ой Международной конференции «Системный анализ, управление и навигация». Крым, г. Евпатория. 2-9 июля 2023 г. С. 115-116.

### **Построение концептуальной модели и формулирование научной задачи по разработке методики навигации и управления низкоорбитальными высокодинамичными космическими аппаратами**

<sup>1</sup>Мельников А.В., <sup>2</sup>Некрасов В.В.

<sup>1</sup>МИИГАиК, <sup>2</sup>АО «Корпорация «ВНИИЭМ», г. Москва, Россия

Необходимость создания низкоорбитальных (порядка 200 км) [1] высокодинамичных [2] космических аппаратов дистанционного зондирования Земли формирует специфические условия эксплуатации. Такие условия предполагают получение изображений высокого разрешения и снижение требований к радиационной стойкости составляющих КА, что в комплексе открывает новые перспективы для улучшения масса-габаритных характеристик. В исследовании осуществляется поиск концептуальной модели управления низкоорбитальными высокодинамичными космическими аппаратами дистанционного зондирования Земли.

Традиционно основными источниками получения первичной информации для определения положения спутника являются оптико-электронные приборы ориентации [3]. Для обеспечения эффективного управления низкоорбитальными космическими аппаратами необходимо создание методики модернизации данных устройств.

Проведенный обзор отечественных и зарубежных существующих решений позволяет сформулировать следующую научную задачу: найти концептуальную модель навигации для управления низкоорбитальными высокодинамичными КА ДЗЗ.

Литература:

1. Волоцув В.В. Космический аппарат дистанционного зондирования Земли с длительным сроком существования на сверхнизких орбитах // Материалы Одиннадцатой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем ДЗЗ». – М.: АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2023 г. – С. 71-72.
2. Некрасов В. В. Методика оценки структурных характеристик системы управления электромеханическим блоком двигателя-маховика для организации эффективного управления высокодинамичными космическими аппаратами дистанционного зондирования Земли / В. В. Некрасов, Л. А. Макриденко // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2022. – Т. 186, № 1. – С. 20–29. –ISSN 2500-1299.
3. Васильев В.Н. Системы ориентации космических аппаратов / В.Н. Васильев. – М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2009. – 310 с. ISBN 978-5-903194-06-3.

### **Экологические аспекты сверхзвукового гражданского самолета**

Милто Е.В., Салимгареева В.Р.

МАИ, г. Москва, Россия

В связи с потребностью в росте быстрых пассажироперевозок на большие расстояния перед авиастроением возникла задача возобновления работ над созданием сверхзвуковых гражданских самолетов (СГС) при условии экологической безопасности эксплуатации ВС. Пример второго поколения СГС – проект Boeing 797 NMA, он имитирует "Конкорд" и Ту-

144 по летным характеристикам с меньшими выбросами, шумом и расходом топлива. Несмотря на экологические требования, разработки новой авиационной техники ведутся в России в двух направлениях: декарбонизация и снижение шумового воздействия.

Основные причины прекращения эксплуатации СГС первого поколения: высокая капиталоемкость, звуковые удары, высокий расход топлива, возросшая эмиссия и соответствующее удорожание авиаперевозки в условиях жестких экологических нормативов. Сверхзвуковые суда находятся под давлением «нулевой авиации», а соблюдение CORSIA является обязательным. И в дополнение к шуму при взлете-посадке, СГС производят звуковые удары при полете.

Сверхзвуковые и дозвуковые самолеты имеют фундаментальные технические различия, но должны соответствовать нормативам ИКАО. В ходе CAEP/12 завершено исследование сверхзвуковых самолетов. В программу CAEP/13 включено совершенствование стандартов по шуму и выбросам при посадке и взлете.

В области снижения углеродного следа ведутся работы над созданием производства и снижением стоимости экологически безопасного авиатоплива. Альтернатива классическому авиакеросину – SAF. В России сегмент создан «Газпром нефтью» с 23 сентября 2021 г: соглашения о производстве авиационного топлива с минимальным углеродным следом с российским оператором «Аэрофлотом».

Разработки инновационных технологий по снижению сопротивления воздуха и звукового удара ведутся в исследовательских центрах. Японское агентство аэрокосмических исследований (JAXA) проводит разработки сверхзвукового транспорта. Ключевые технологии включают снижение сопротивления (NEXST-1) и звукового удара (D-SEND). Российские кадры также активно ведут работы по созданию технологий СГС-Т с требуемыми характеристиками по шуму. Новый СГС создают в НИЦ «Институт имени Н. Е. Жуковского» и ФГУП «ЦАГИ». По ряду направлений снижения звукового удара достигнут прогресс, эффективность подтверждена испытаниями. Для этого реализуется стратегия цифровой трансформации. Активно используются программные продукты Electronic Wind Tunnel и BLWF, позволяющие определять аэродинамические характеристики ЛА с работающей силовой установкой; комплекс ARGON для определения нагрузок и расчета деформации конструкций, исследования устойчивости и др.

Промышленность внедряет инновации снижения шума, чистое топливо - для эффективности двигателей. Инновации увеличивают преимущества авиации, что делает устойчивый сверхзвуковой полет реальным.

Литература:

1. Метечко Л.Б., Сорокин А.Е., Вострикова С.М. Прикладные Экологические Расчеты. Анализ И Расчет Выбросов Загрязняющих Веществ Производствами Аэрокосмической Отрасли Москва: Издательство Маи, 2018.-96с.: Ил.
2. Metechkol.B., Sorokin A.E., Cluster Strategy for Eco-Innovation at Manufacturing Enterprises Russian Engineering Research 2018 38(4), С. 316-319
3. Sebastian D. Eastham. Impacts of a near-future supersonic aircraft fleet on atmospheric composition and climate
4. Raymond L. Speth, Sebastian D. Eastham. Global Environmental Impact of Supersonic Cruise Aircraft in the Stratosphere

### **Перспективы использования топливных элементов в ракетно-космической технике**

Михайлова Д.Ю., Шангин И.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Создатели современных энергетических систем в ракетно-космической технике всегда уделяют особое внимание к массогабаритным характеристикам, а именно к их уменьшению. К этому можно прийти с помощью использования топливных элементов в качестве источников электрической энергии в космических аппаратах. В рамках данной работы будут рассматриваться низкотемпературные водородно-воздушные топливные элементы с протообменной мембраной (ТЭ ПОМ).

Топливный элемент (ТЭ) – это электрохимическое устройство (химический источник электрического тока), в котором химическая энергия напрямую преобразуется в электрическую. Получение энергии проходит с высокой эффективностью и с минимальными выбросами, загрязняющими воздушную среду.

Основными факторами, которые влияют на режим работы ТЭ, являются:

- 1) Срок службы.
- 2) Чистота реагентов.
- 3) Требования к надёжности, нагрузкам и техническому обслуживанию.
- 4) Характер нагрузок.
- 5) Режимы эксплуатации.
- 6) Требования к мощностным и энергетическим характеристикам.

Описан принцип работы и конструкция ПОМ ТЭ. Приведены примеры их использования в РКТ, на подводных лодках; показаны особенности устройства систем энергоснабжения на ТЭ в КА.

Исследованы полученные в проведённых исследованиях вольтамперные характеристики (ВАХ) ПОМ ТЭ (ссылки на них указаны в работе), ВАХ конкретного ТЭ позволяют сделать вывод об эффективности его работы.

Рассмотрен вопрос сложностей хранения реагентов на борту КА, в частности, водорода. Предложены пути решений проблематики этого вопроса.

Изучена структура программного комплекса COMSOL Multiphysics — это интегрированная платформа для моделирования различных физико-химических процессов на основе метода конечных элементов. Приведён пример учебной модели ПОМ ТЭ, созданной в этой программе.

Результаты проведённого исследования подтверждают, что ПОМ ТЭ являются перспективными для их использования в РКТ. Дальнейший анализ возможно осуществить, используя программу COMSOL Multiphysics.

Литература:

1. Валитов М.И. Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук: «Новые платиновые и комплексные никелевые катализаторы для полимерно-электролитного топливного элемента, ЭПП-мониторинг процессов окисления топлива и деградации мембраны». Казань – 2014г.
2. А.В.Козлов, статья «Математическая модель топливного элемента» в журнале «Транспорт на альтернативном топливе» 2022г.
3. Матренин В.И., Овчинников А.Т., Поспелов Б.С., Соколов Б.А., Стихин А.С. «От энергетики орбитального корабля «Буран» к энергетике космических кораблей и станций», 2013 г.
4. Худяков С. А. «Разработка энергоустановок на основе щелочных топливных элементов для Лунного орбитального корабля и многооразового космического корабля «Буран»», РКК «Энергия» им. С.П. Королева, г. Королев, 2003г.
5. М.О. Галлямов, А.Р. Хохлов. Материалы к курсу по основам топливных элементов. «Топливные элементы с полимерной мембраной». Москва, 2014г.
6. Лоскутов А.Б. «Современные технологии производства и накопления электрической энергии»
7. Программный комплекс COMSOL Multiphysics.

**Разработка методик и подходов к проектированию изделий с применением новых пользовательских моделей волокнистых полимерных композиционных материалов, разработанных по технологии цифровых двойников**

Ожгибесова Д.Д., Асанидзе С.Э., Зайнуллина Д.М., Боровков А.И.

СПбПУ, г. Санкт-Петербург, Россия

Аналитические методики проектирования изделий из волокнистых полимерных композиционных материалов (ВПКМ) ограничиваются применением линейных моделей материалов и имеют ряд допущений. Также в коммерческом программном обеспечении (ПО) на сегодняшний день нет математических моделей для ВПКМ, которые могли бы полностью

описать сложное поведение слоистого пакета с укладками отличными от 0 и 90 градусов, где линейное поведение, например, углепластиков еще обосновано их природой (хрупкий материал). Более сложные модели, необходимые проектировщику, такие как модель усталостной долговечности, ползучести, трещиностойкости, остаточной прочности, модели, учитывающие изменение свойств при воздействии внешних сред, модели, позволяющие учесть влияние технологических процессов, – тоже не представлены в ПО конечно-элементного анализа.

Такие модели требуют систематической разработки, продуманной программы-методики испытаний, связанной с конструкцией и технологическим процессом, достаточного набора экспериментальных данных, критического анализа механики и процессов, происходящих в материалах, по результатам экспериментов. Разработка пользовательских моделей должна соответствовать требованиям ГОСТ Р 57700.37-2021 [1]. При комплексном подходе к задаче реализуется цифровой двойник (ЦД) композиционных материалов (КМ), позволяющий осуществить переход к ЦД изделия и решать задачи проектирования.

На данный момент разработано несколько пользовательских моделей материала для LS-DYNA по экспериментальным данным конкретного углепластика и данным открытых источников, входящих в состав ЦД КМ: модель статических свойств, усталости, ползучести и модель полимеризации. Разработаны аналитические методики прямого расчета свойств и построения математической модели материала по результатам эксперимента для модели статической прочности в плоскости слоя и модели расслоения.

Новые пользовательские модели материала позволяют развивать методы оценки прочности, долговечности и надежности, в свою очередь разработанные методики позволяют перейти в плоскость нелинейного аналитического расчета тонкостенных пластин и оболочек, и, в совокупности с численными методами, развивать методики проектирования оптимальной послойной структуры материала в составе изделия для сопротивления внешним факторам.

Литература:

1. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. – Введ. 01.01.2022. – М.: ФГБУ «РСТ», 2021. – 10 с.

### **Организация процесса ионообменной очистки в газожидкостной среде в условиях микрогравитации**

<sup>1</sup>Павлов А.В., <sup>2</sup>Бобе Л.С., <sup>1</sup>Скляр Е.Ф.

<sup>1</sup>АО «НИИхиммаш», <sup>2</sup>МАИ, г. Москва, Россия

В системах регенерации воды из конденсата атмосферной влаги и урины на космической станции широко используется процесс ионообменной очистки жидкости от диссоциирующих на ионы примесей. В настоящее время очистка производится в колонной аппаратуре в жидкой фазе. В то же время очистка воды от органических примесей наиболее эффективно осуществляется при введении в жидкостной поток воздуха, содержащего окислитель – кислород. Для обеспечения совместного проведения обоих процессов в одном и том же аппарате разработан способ организации процесса ионообменной очистки применительно к условиям работы в системах типа СРВ-К (система регенерации воды из конденсата атмосферной влаги).

Организация процесса: в колонку, заполненную ионообменными смолами, периодически (с паузой  $T$ , мин) подаются равные расчётные объёмы очищаемой жидкости и атмосферного воздуха. Образуется газожидкостная структура со смоченной жидкостью гидрофильной поверхностью ионообменных смол. Ионообменная очистка проходит в квазистатическом режиме в период времени  $T$ , с перемешиванием среды и обновлением поверхности контакта жидкости с сорбентом при подаче жидкости и воздуха.

Выполнены эксперименты по оценке истинного объёмного содержания воздуха в газожидкостной среде в зависимости от соотношения расходов газа и жидкости. Проведены модельные исследования на макете блока колонок с ионообменными смолами в виде фильтра смешанного действия: смесь анионита АВ-17-10ПЧ с катионитом КУ-23ч в соотношении 3:1. Очищался раствор содержащий аммиак, уксусную кислоту. Очищаемые

вещества на выходе из колонки не обнаружены. Ресурс ионообменных смол близок к расчётному. Планируется проведение лёгкого эксперимента.

Литература:

1. Павлов, А. В. Снижение массозатрат при сорбционно-каталитической очистке конденсата атмосферной влаги в системе регенерации воды космической станции / А. В. Павлов, Л. С. Бобе, А. А. Кочетков // 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика»: Тезисы 19-ой Международной конференции, Москва, 23–27 ноября 2020 года. – Москва: Издательство "Перо", 2020. – С. 394-395. – EDN MXNXSR.

2. Чисхолм Д. Двухфазные течения в трубопроводах и теплообменниках. – М.: Недра, 1986.

3. Кокотов Ю.А. Иониты и ионный обмен. – Л.: Химия, 1980. – 152 с., ил. – (Вопросы современной химии)

### **Ячеистая оптимизация конструкции при аддитивном производстве**

Половников Д.Е., Алифанов О.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Постоянно возрастающие требования к эффективности современных и перспективных изделий авиационной и космической техники вносят свои коррективы в привычные методы их разработки и изготовления, так многие подходы, зарекомендовавшие себя ранее, уступают свое место новым перспективным решениям. Одними из таких набирающих популярность методов производства являются аддитивные технологии. Этот подход на данный момент находит свое применение при быстром прототипировании, опытном производстве, однако имеются предпосылки его применения при серийном изготовлении продукции. Основное преимущество этого метода заключается в том, что он позволяет изготавливать изделия любой формы, благодаря чему появляется возможность в полной мере использовать методы оптимизации конструкции, такие как топологическая оптимизация.

Топологическая оптимизация позволяет синтезировать наилучший вариант конструкции путем определения рационального распределения материала в заданной области, отвечающего требованиям прочности, жесткости. Преимущественно оптимизация топологии фокусируется на макроскопических изменениях геометрии объекта, выполненного из однородного материала. Интересным направлением развития данного метода видится ячеистая оптимизация, суть которой заключается в создании комбинированной конструкции, содержащей области как из основного материала, так и из субматериала, представляющего собой периодическую ячеистую структуру, при этом распределение материалов определяется из условия минимума массы. Учет вклада ячеистой структуры в прочность/жесткость конструкции при ее проектировании позволяет более рационально распределить материал и, как следствие, снизить массу изделия.

В данной работе рассмотрены основные направления дальнейшего исследования ячеистой оптимизации конструкции изделий при их аддитивном производстве.

Литература:

1. Д.К. Лукомский, Д.Е. Половников Перспективные методы создания силовых конструкций. Сборник материалов научно-технической конференции молодых специалистов. АО «Корпорация «МИТ». 2023. С. 15-20

2. К.А. Башин, Р.А. Торсунов, С.В. Семенов Методы топологической оптимизации конструкций, применяющиеся в аэрокосмической отрасли. Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. № 51. С. 51-70. DOI: 10.5593/2224-9982/2017.51.05

3. Bendsoe M.P., Sigmund O. Topology optimization: theory, methods and applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Engineering online library), 2003. 370 p.

## **Разработка наноспутника формата CubeSat с целью мониторинга космического мусора**

Пронина П.Ф., Литвинович Н.В., Ткачук М.О.

МАИ, г. Москва, Россия

Осведомленность о космической ситуации – это знание и характеристика космических объектов и условий их эксплуатации для поддержания безопасной, стабильной и устойчивой деятельности. Проблемы в контексте космической ситуационной осведомленности все чаще возникают вследствие роста числа спутниковых систем, повышающих количество космического мусора, который в свою очередь не только препятствует исследованиям астрономов, но и создает опасность высокоскоростных столкновений функционирующих аппаратов с пассивными фрагментами, также самый мелкий космический мусор способен повреждать чувствительные поверхности бортовых приборов. В настоящее время космический мусор отслеживается и каталогизируется с помощью наземных оптических телескопов и радаров, которые позволяют получить сведения обо всех объектах размером более 10 см и их орбитах. Однако, только около 4% объектов на низкой околоземной орбите размером от 1 см и более содержится в общедоступном каталоге космических объектов. В качестве решения данной проблемы предлагается разработка наноспутника формата CubeSat, оснащенного системой мониторинга.

В данной работе было рассмотрено влияние техногенных и метеороидных частиц, приведена оценка максимальных величин концентрации космического мусора разных размеров на низких околоземных орбитах и на геостационарной орбите.

Также были определены технические требования к конструкции разрабатываемого космического аппарата и требования к его основным системам.

Были проанализированы существующие двигательные установки для наноспутников формата CubeSat. На основе поставленных задач КА, преимуществ и недостатков рассмотренных двигательных установок был выбран радиочастотный ионный двигатель.

Основными средствами наблюдения за космическим мусором были определены оптическая камера и солнечные датчики.

Литература:

1. Ивахненко С. Г. Введение в конструирование космических аппаратов: учебное пособие / С. Г. Ивахненко, А. В. Семенкин, Л. Г. Барсеян. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. – 157, [3] с.: ил.
2. Кочура С. Г. Обеспечение стойкости автоматических космических аппаратов к совместному воздействию метеороидных частиц, техногенных частиц и плазменных струй электроракетных двигателей: Учебное пособие / Кочура С. Г., Максимов И. А., Надирадзе А. Б., Смирнов В. А. – М.: Изд-во МАИ, 2022. – 84 с.: ил.
3. Волоцув В. В. Введение в проектирование космических аппаратов: учеб. пособие / В. В. Волоцув, И. С. Ткаченко. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. – 144 с.: ил.
4. Козлов Д. И. Конструирование автоматических космических аппаратов: учеб. пособие / Д. И. Козлов, Г. П. Аншаков, В. Ф. Агарков и др.; под ред. Д. И. Козлова. М.: Машиностроение, 1996.
5. Туманов А. В. Основы компоновки бортового оборудования космических аппаратов: учебное пособие / А. В. Туманов, В. В. Зеленцов, Г. А. Щеглов, - Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – 576, [2] с.: ил.

## **Ресурс статического разделителя газожидкостной смеси в системе генерации кислорода «Электрон-ВМ» на Международной космической станции**

Прошкин В.Ю.

АО «НИИХиммаш», г. Москва, Россия

На Международной космической станции (МКС) с 2000 г. работает система генерации кислорода «Электрон-ВМ», которая производит кислород для дыхания экипажа. В технологическом блоке (ТБ) системы идет процесс электролиза воды на O<sub>2</sub> и H<sub>2</sub> из щелочного электролита (25% по массе раствор КОН) и последующее разделение газожидкостных смесей (ГЖС) в статических разделителях на пористых диафрагмах.

Разделители ГЖС в O2 и H2 линиях – набор одинаковых ячеек. В каждой ячейке две пористые фильтрующие диафрагмы (сверху и снизу) диаметром 192 мм. По потоку ГЖС несколько ячеек соединены параллельно в секцию, несколько секций – последовательно. В H2-разделителе 13 ячеек (26 диафрагм): секция 5 ячеек 4-3-1; в O2 разделителе 9 ячеек (18 диафрагм): 4-3-1-1. Соответственно, площадь поверхности фильтрации 7524 и 5209 см2.

На 18.10.2023 г. наработка ТБ № 11 системы «Электрон-ВМ» в Служебном Модуле МКС достигла 2334 суток (с 2011 г.) = 6 лет 144 суток. Задача: оценить минимальный ресурс (время работы до проскока жидкости с газом) для O2-разделителя, т.к. его ресурс ограничивает ресурс ТБ.

Начальная протекаемость диафрагмы по электролиту (скорость фильтрования)  $W_0=15$  мл/[см2 час] при перепаде давления 50 кПа. Расход электролита (из ГЖС) через каждый разделитель 11 л/час. Расход H2 и O2 (из ГЖС) не учитывают, т.к. через диафрагму идет фильтрация электролита. Процессы в O2 и H2-разделителях - одинаковые.

На пористой диафрагме реализуется механизм фильтрования с образованием осадка

$$W = W_0 / \sqrt{1 + 2k W_0 t}$$

$W_0$  и  $W$  – скорости фильтрования (мл/[см2 час] = см/час) начальная и через время  $t$ ;  $k$  – постоянная фильтрования (час/см2);  $t$  – время (час).

Снижение скорости фильтрования вызвано отложением продуктов электрохимической коррозии, микрочастиц катализатора из электролизера и возможных нерастворимых соединений, образующихся в электролите из-за наличия микропримесей в подпитывающей воде, поступающей в ТБ.

Другие механизмы фильтрования: с полной закупоркой пор, с постепенной закупоркой пор и комбинированный дают большое расхождение с экспериментальными данными.

Результаты дефектации H2-разделителя после отработки 836 суток в составе ТБ при наземных испытаниях:

- Для фильтрации электролита задействовано: в секции из 5 ячеек – 100% поверхности диафрагм снизу и сверху (относительно направления гравитации); в секции из 4 ячеек 45% поверхности снизу и 30% поверхности сверху; в секциях из 3 и 1 ячейки поверхность не задействована; т.е. всего задействована поверхность:  $5 + 4 \times 0,45 = 6,8$  диафрагм снизу (1968 см2) и  $5 + 4 \times 0,30 = 6,2$  диафрагм сверху (1794 см2);

- На нижних диафрагмах осадка значительно больше, чем на верхних.

Под действием гравитации большая часть осадка в ячейке откладывается на нижней диафрагме. На основании экспериментальных данных, при расчетах для наземных условий используют приведенную площадь поверхности фильтрации:

$$F^* = F_H + 0,5 F_V = 1968 + 0,5 \times 1794 = 2865 \text{ см}^2$$

$F_H$  и  $F_V$  – площадь диафрагм снизу и сверху, задействованная при фильтрации ( $F_V$  учитывают с коэффициентом 0,5).

Для  $F^*$ ,  $W_0=15$  см/час,  $t=20064$  час (836 суток) численными методами находим постоянную фильтрования  $k=0,00000296$  час/см2.

Используя  $k$  численными методами, находим время, когда задействованная поверхность фильтрации достигнет 5209 см2 (на МКС при микрогравитации отложение осадка одинаковое для нижней и верхней диафрагм). Таким образом, минимальный ресурс O2-разделителя ГЖС в ТБ системы «Электрон-ВМ» на МКС составляет 77 183 час (3216 суток = 8 лет 296 суток).

### **Комбинированный имитатор солнечного излучения на основе высокоэффективных светодиодов и галогеновых ламп**

Рахматуллин Р.Р., Данилов М.Д., Надирадзе А.Б.

МАИ, г. Москва, Россия

Возможность комбинирования светодиодных источников света и галогенных ламп в одном ИСИ была предложена и исследована в ряде научных работ и технических проектов, например [1]. В этих исследованиях авторы стремились создать более эффективные и экономичные системы, сочетающие преимущества обоих типов ламп.

Одно из главных преимуществ комбинированного ИСИ, разработанного и созданного на кафедре 208 МАИ, заключается в том, что светодиодные источники обеспечивают высокую энергоэффективность и продолжительный срок службы, а галогенные лампы обладают высокой светоотдачей.

Выбор источников для ИСИ основывался на следующих соображениях. Во-первых, ИСИ должен генерировать световой поток в диапазоне длин волн от 200 до 2500 нм для солнечного спектра АМ0, в соответствии со спектральной чувствительностью трехкаскадного фотопреобразователя [2]. Во-вторых, удельная мощность светового потока должна быть не менее 1340 Вт/м<sup>2</sup>.

Предпочтение отдавалось сверхярким светодиодным матрицам белого спектра с цветовой температурой 5000К, т.е. спектр которых подобен спектру солнечного света в диапазоне от 380 до 850 нм [3].

Белые светодиодные матрицы комбинируются с корректирующими монохромными светодиодами и галогеновыми лампами, так как спектр белых светодиодов не обеспечивает требуемой спектральной точности и требует дополнительной коррекции как минимум в ультрафиолетовой (менее 400 нм), голубой (450–470 нм), красной и инфракрасной (более 620 нм) областях.

Все источники ИСИ оснащены дополнительными оптическими элементами, которые образуют единое пятно с высокой равномерностью плотности светового потока.

Для нормальной работы светодиодных матриц сконструировано термооснование, обеспечивающее эффективный отвод тепла, так как сильный нагрев снижает световой поток светодиода и уменьшает его полезный срок [4].

Основными параметрами комбинированного ИСИ: обеспечение различных уровней плотности светового потока от 280 до 1400 Вт/м<sup>2</sup>; высокое спектральное соответствие без необходимости использования оптических фильтров; временная стабильность; компактность и возможность его расположения внутри вакуумной камеры; высокие показатели преобразования энергии, откуда следует низкое электропотребление; продолжительный ресурс по сравнению со всеми другими типами ламп для солнечных имитаторов; безопасность.

Литература:

1. Bazilevskiy A. B., Karpenko A. B. [The simulator of solar radiation on the basis of combined continuous light sources]. Material nauchn.-tehn. konf. OAO "ISS im. akad. M. F. Reshetneva" [Proceedings of Scientific and Techn. Conf. JSC "Reshetnev-ISS"]. Zheleznogorsk, 2011, P. 160–162 (In Russ.).

2. Слыщенко Е. В., Наумова А. А., Лебедев А. А., Генали М. А., Вагапова Н. Т., Жалнин Б. В. Обзор современных фотоэлектрических преобразователей космического назначения на основе соединений АШВВ. // Сибирский журнал науки и технологий. 2018. Т. 19, № 2. С. 308–324

3. Двирный Г.В., Шевчук А.А., Двирный В.В., Елфимова М.В., Крушенко Г.Г. Анализ возможности создания имитатора солнечного излучения на основе светодиодных источников для наземной отработки космических аппаратов // Сибирский журнал науки и технологий. – 2018. – т.19, № 2, С. 271-280

4. Павлова А.А., Рамазанов А.Н., Кострин Д.К. Анализ температурных зависимостей светотехнических характеристик светодиодов // Электронный научно-практический журнал «Современные научные исследования и инновации». – 2022.

### **Сварка трением с перемешиванием тонкостенных алюминиевых деталей, полученных методами аддитивного производства**

Роголев Р.С., Махин И.Д., Басов А.А., Дубовицкий А.Д., Замышляев Д.А.

РКК «Энергия», г. Королёв, Россия

На сегодняшний день работы по внедрению аддитивных технологий (АТ) в авиационной и ракетно-космической промышленности находятся на стадии освоения. Одной из ключевых проблем внедрения является вопрос получения качественных неразъемных соединений синтезированных деталей с другими деталями, в том числе выполненными по традиционной

технологии. Такие широко распространенные методы как аргонодуговая сварка (АДС) зачастую не позволяют получать соединения, соответствующие требованиям действующих стандартов [1].

Поэтому, в связи с отсутствием конкретных рекомендаций по способам сварки деталей, изготовленных аддитивными методами, в частности тонкостенных деталей из алюминиевых сплавов, было проведено исследование по получению неразъемных соединений, удовлетворяющих требованиям нормативной технической документации для изделий авиационного и космического назначения. Одним из таких способов является сварка трением с перемешиванием (СТП) [2]. Главное его преимущество основывается на том, что при СТП не происходит расплавление свариваемых металлов, что позволяет избежать различных дефектов, возникающих при кристаллизации металла. Также в отличие от АДС, при СТП зона сварного шва в гораздо меньшей степени подвержена внешней газовой среде, что существенно отражается на пористости материала.

В работе приводятся результаты исследования сварных швов, полученных методами аргонодуговой сварки, а также сваркой трением с перемешиванием, в том числе результаты металлографического и томографического исследования. На их основе проведен анализ сварных швов и выданы рекомендации по сварке тонкостенных алюминиевых изделий, полученных методом селективного лазерного плавления.

Таким образом, в работе продемонстрирована возможность получения сварных соединений, удовлетворяющих требованиям нормативной технической документации для производства изделий РКТ, отработана технология СТП аддитивных деталей из сплавов на основе Al-Mg, а также продемонстрирована возможность получения качественных стыковых соединений данных изделий с заготовками, изготовленными традиционным путем механической обработки.

Литература:

1. ОСТ 92-1114-80. Соединения сварные. Общие технические требования. –М.: Издательство стандартов, 1980. 102 с.
2. Отработка технологии сварки трением с перемешиванием алюминиевых сплавов 1570С, АМГ6 большой толщины для использования в перспективных разработках РКК «Энергия» / С.Ю. Шачнев, В.А. Пашенко, И.Д. Махин [и др.] // Космическая техника и технологии. – 2016. – №4(15). – С. 24-30.

### **Специальные режимы ориентации солнечных батарей орбитального КА для решения задач оценки их эффективности**

Рулев Д.Н., Спирин А.И.

ПАО «РКК «Энергия», г. Королев, Россия

С учетом основных факторов, обуславливающих переменность силы тока от солнечных батарей (СБ) орбитального космического аппарата (КА), для оценки эффективности СБ с двусторонней светочувствительностью используется параметр, определяемый как ток, который генерируют СБ за счет освещения лицевой поверхности СБ солнечным излучением эталонной яркости под прямым углом к поверхности СБ [1, 2]. Ток СБ рассчитывается как сумма составляющих, генерируемых за счет освещения лицевой и тыльной сторон СБ излучением Солнца и излучением, уходящим от Земли. Учет уходящего от Земли излучения выполняется по значениям коэффициентов диффузного отражения ячеек подстилающей земной поверхности (значение двулучевой функции отражения BRF), получаемым по данным видимых каналов спектра с геостационарных спутников Meteosat и Электро-Л. Коэффициенты генерации тока находятся из условия минимизации отличия расчетного тока СБ от тока, полученного по телеметрической информации (ТМИ). Задача решается с использованием итерационного метода Ньютона-Гаусса.

Для оценки эффективности отдельных СБ КА по ТМИ суммарного тока СБ выполняются специальные режимы ориентации лицевой и тыльной поверхностей СБ на Солнце [3]. Методика управления ориентацией СБ формулируется следующим образом: на одном временном отрезке при полной освещенности СБ Солнцем выполняется штатная ориентация лицевой поверхностью СБ на Солнце; на другом временном отрезке при полной

освещенности СБ Солнцем выполняется разворот СБ до положения, при котором углы между направлением на Солнце и нормальными к тыльным поверхностям СБ менее заданного острого угла; на других  $2n-2$  временных отрезках, где  $n \geq 2$  - общее количество СБ, при полной освещенности СБ Солнцем выполняется разворот менее  $n$  СБ до положения, при котором углы между направлением на Солнце и нормальными к тыльным поверхностям СБ меньше заданного острого угла, при условии, что для каждой СБ не менее чем на одном временном отрезке к Солнцу обращена лицевая сторона СБ и не менее чем на одном временном отрезке к Солнцу обращена тыльная сторона СБ.

Для максимально точного определения искомых параметров-характеристик эффективности лицевой и тыльной поверхностей СБ, при формировании исходных данных для решения оптимизационной задачи массивы данных по каждой уникальной комбинации режимов ориентации СБ,кратно повторяем расчетное число раз так, чтобы отличие суммарного количества моментов/точек измерений тока СБ различных комбинаций режимов ориентации СБ различались не более чем на задаваемую величину.

Если полученное значение коэффициента эффективности тыльной поверхности СБ относительно лицевой поверхности СБ выходит за пределы паспортного диапазона значений данного коэффициента, принимается решение о расширении данного диапазона или указанный коэффициент принимается равным соответствующей границе его паспортного диапазона.

Литература:

1. Рулев Д.Н. Учет уходящего от Земли излучения в модели системы электропитания российского сегмента Международной космической станции // Известия РАН. Энергетика. 2021, № 4, с. 90–102.

2. Rulev D.N., Spirin A.I. Evolution of the performance monitoring techniques for solar arrays of the service module Zvezda within the ISS Russian segment over the course of its orbital flight // Acta Astronautica, Volume 198, 2022, Pages 680-688,

3. Спиринов А.И., Рулев Д.Н. Способ оценки эффективности солнечных батарей системы электропитания аппарата, преимущественно космического // Патент на изобретение РФ №2784977. Бюл. № 34 от 01.12.2022.

### **Применение метода сил для построения математической модели пространственного движения трехзвенного космического манипулятора**

Русских С.В., Гришанина Т.В.  
МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается динамика пространственного движения трехзвенного манипулятора, состоящего из двух упругих стержней, работающих на изгиб в вертикальной и боковой плоскостях и на кручение, и присоединенного к ним на конце массивного абсолютно твердого тела (схвата с грузом). Первое звено соединено с неподвижным основанием. Между собой звенья соединены шарнирными узлами с заданными (управляемыми) относительными углами поворота. В расчетной модели учитывается податливости механизмов приводов по этим углам. Разработана математическая модель нестационарных колебаний системы при произвольном кинематическом воздействии. Деформации стержней считаются малыми (линейными); инерция стержней не учитывается.

Уравнения динамики системы получены по методу сил на основании принципа Кастильяно. При этом инерционные силы произвольного твердого тела со схватом заменяются неизвестными реакциями в узле крепления. По методу сил строится алгоритм определения упругих перемещений и углов поворота в неподвижной системе координат в точке присоединения тела и определяется матрица податливости, зависящая от времени. Инерционные силы и моменты тела сначала определяются в связанной с телом подвижной системе координат, а затем, используя линеаризованные уравнения движения тела при его малых угловых скоростях, записываются в исходной неподвижной системе координат. В итоге задача сведена к шести дифференциальным уравнениям колебаний твердого тела в неподвижной системе координат с присоединенной к нему упругой стержневой системой переменной структуры.

В качестве численного примера решена задача управляемого плоского движения симметричного манипулятора с двумя упругими стержневыми звеньями и с переносным твердым телом с учетом упругих податливостей в шарнирных соединениях. Выполнены сравнения с решением задачи в перемещениях с оценками влияния инерции стержней и податливостей в соединениях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 22-29-01206 «Динамика трансформируемых и управляемых упругих космических систем»).

Литература:

1. Гришанина Т.В., Шклярчук Ф.Н. Динамика упругих управляемых конструкций. – М.: Изд-во МАИ, 2007. – 328с.

2. Русских С.В., Шклярчук Ф.Н. Нелинейная динамика трансформируемых и управляемых упругих космических систем. – М.: Изд-во МАИ, 2023. – 160 с.

### **Анализ методов регенерации санитарно-гигиенической воды на перспективных космических станциях**

Сальников Н.А., Бобе Л.С., Рукавицын С.Н.  
АО «НИИХиммаш», г. Москва, Россия

Для осуществления длительных автономных пилотируемых миссий к Луне и другим небесным телам требуется решить ряд задач, среди которых задача организации санитарно-гигиенического обеспечения экипажа. В настоящее время на МКС санитарно-гигиенические процедуры экипажа проводятся с использованием регулярно доставляемых с земли увлажненных салфеток и полотенец. При длительных автономных пилотируемых миссиях возможности доставок или складирования запасов резко сокращаются или вовсе отсутствуют. В связи с этим необходим новый подход к санитарно-гигиеническому обеспечению экипажа.

Для решения данной проблемы наиболее рационально организовать водные процедуры экипажа и стирку одежды с регенерацией санитарно-гигиенической воды. В соответствии с действующими стандартами потоки санитарно-гигиенической воды будут весьма значительными и составят от 3 до 9,2 литров воды на человека в сутки. Регенерация данной воды для питьевых кондиций нерациональна, сложна и затратна, поэтому предложено организовать отдельный замкнутый контур санитарно-гигиенического водообеспечения с регенерацией воды до требований к санитарно-гигиенической воде, что значительно упростит и удешевит процесс регенерации.

За время эксплуатации орбитальных станций «Мир» и МКС получен большой опыт по регенерации воды из конденсата атмосферной влаги и урины, который может быть использован для решения будущих задач по регенерации воды. На станции «Мир» также проходила испытания система регенерации санитарно-гигиенической воды, основанная на фильтровании, сорбционной и ионообменной очистке. Система хорошо себя показала, но имела ряд ограничений, среди которых необходимость использования специальных диссоциирующих на ионы моющих средств. Используемое моющее средство – катамин с окисью амина – обладал значительным раздражающим действием на слизистые, что доставляло дискомфорт экипажу. Для обеспечения комфорта проведения водных процедур предложено использовать общепринятые моющие средства, использование которых требует разработки новых способов регенерации воды.

Для организации санитарно-гигиенического обеспечения экипажа при длительных автономных пилотируемых миссиях наряду с созданием системы регенерации санитарно-гигиенической воды необходимо создание средств проведения водных процедур и стирки одежды в условиях микрогравитации, что позволит комплексно решить поставленную задачу.

В настоящем докладе проведен анализ методов регенерации санитарно-гигиенической воды, выбраны наиболее подходящие процессы регенерации в условиях микрогравитации, приведены результаты экспериментальных исследований регенерации имитатора и натурной санитарно-гигиенической воды методом обратного осмоса и вакуумной дистилляции.

Список используемой литературы:

1. Сальников Н.А., Бобе Л.С., Кочетков А.А., Железняков А.Г., Андрейчук П.О., Шамшина Н.А. Применение мембранной аппаратуры для регенерации санитарно-гигиенической воды на космической станции // Космическая техника и технологии. 2018. № 4(23). С. 29-39.

2. Андрейчук П.О., Аракчеев Д.В., Бобе Л.С., Железняков А.Г., Кочетков А.А., Романов С.Ю., Сальников Н.А. Применение центробежной вакуумной дистилляции для регенерации воды из урины и санитарно-гигиенической воды на космической станции // Космическая техника и технологии. 2020. № 4(31). С. 21-31.

### **Анализ возможности технической реализации исследования гормонального статуса космонавта в космическом полете**

Сафронова К.П., Васин Ю.А., Ульяновкин А.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Известно, что гормональные изменения в космическом полете являются частью адаптационных процессов, которые позволяют космонавту пережить чрезвычайную ситуацию и избежать летального исхода. Изменения происходят в концентрации: АКТГ, кортизола, катехоламинов, АДГ и другое [1]. Кортизол является гормоном, имеющим важнейшее значение в гормональной регуляции адаптационных процессов.

На Земле анализы обычно включают оценку кортизола слюны с помощью иммуноферментного анализа (ИФА) из-за его чувствительности и универсальности. Однако, существующие методы анализа не удовлетворяют требованиям космического полета так, чтобы стать частью системы медицинского контроля, поскольку являются объемными по времени обработки полученных проб. Также сам ИФА анализ состоит из нескольких этапов, таких как экстракция и очистка образцов, и длительного времени инкубации, что усложняет процесс пробоподготовки и, соответственно, проведения самого анализа. Более того, необходимы несколько образцов слюны для повышения точности анализа, наличие специалиста и соответствующего оборудования. В силу вышеописанных факторов, время анализа может варьироваться от нескольких недель до нескольких месяцев. Альтернативой ИФА стали методики, основанные на электрохимических законах [2]. Один из вариантов проведения анализа рассматривается в работе.

Основной целью работы выдвигается развитие возможностей проведения оперативного анализа на содержание кортизола в пробе слюны в условиях космического полета, включая напланетные исследования. Метод требует уточнения референтных границ из-за физических свойств детекторной ячейки.

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Существует возможность технологической реализации электробиохимического метода определения концентрации кортизола.

2. Полученные математические модели доказывают возможность применения метода в условиях воздействия факторов космического полета, в частности микрогравитации, при условии выполнения сформированных технологических требований, выдвигаемых к проведению анализа [3].

3. Представлен вариант реализации технического устройства для проведения анализа, в том числе и расчетные величины рабочей зоны электродов.

Проведенные исследования и предложенные метод и методика в перспективе могут быть использованы для создания бортового прибора и медико-технического контроля гормонального статуса членов лунной экспедиции, что позволит повысить работоспособность экипажа. Также прибор может стать частью системы поддержки принятия решений.

Литература:

1. Морук Борис Владимирович. Регуляция минерального обмена в условиях длительной гипокинезии и космического полета: автореферат дис. доктора медицинских наук: 14.00.32. - Москва, 1999. - 49 с.: ил.

2. Guido G.Urizar Jr., Hugo Sanchez Hernandez, Jessica Rayo, Shekhar Bhansali. Validation of an Electrochemical Sensor to Detect Cortisol Responses to the Trier Social Stress Test [Electronic resource] // Neurobiology of Stress Volume 13, 2020

3. Строгонова Л.Б. Медицинский контроль состояния жидких сред организма человека в экстремальных условиях космического полета: диссертация доктора технических наук: 05.26.02, 14.00.32. - Москва, 2002. - 199 с.

### **Проблемные вопросы проектирования тепловых аккумуляторов для КА различного назначения**

Сеньшина Т.А., Панин Ю.В.

АО «НПО Лавочкина», г. Химки, Россия

Тепловой аккумулятор (ТА) – устройство, обеспечивающее тепловой режим за счет внутренней энергии фазового перехода теплоаккумулирующего материала (ТАМ). Применение ТА для обеспечения теплового режима космического аппарата (КА) позволяет компенсировать пиковые тепловые нагрузки на оборудование и автономно поддерживать тепловой режим работы систем КА, особенно при отсутствии возможности другого способа отвода тепла, кроме фазового превращения ТАМ в ТА [1].

Проблемные вопросы при проектировании ТА можно разделить на две группы: выбор ТАМ и конструктивное исполнение ТА.

ТАМ выбирается с учетом условий функционирования системы, температуры фазового перехода, совместимости материалов ТАМ и ТА, многофазовости и стабильности температуры фазового перехода и его характеристик при внешних воздействиях.

Работа ТА с конкретным ТАМ напрямую зависит от его внутренней теплопроводной структуры, которая может повлиять на выбор ТАМ по вязкости, текучести и агрегатному состоянию.

Одним из вопросов применения солей в качестве ТАМ является стабильность их характеристик при повторном фазовом превращении, что может потребовать введения дополнительных веществ в ТАМ [2].

Необходимо учитывать цикличность и многократность работы ТА на орбитальных КА, а на посадочных аппаратах — наличие гравитации, и возможно одноразовое применение ТА.

При гравитационном воздействии в жидкой фазе ТАМ возникают конвективные потоки, уменьшающие время работы ТА, а при введении газовой подушки в объем ТА возможно образование теплоизолированных областей в местах ее локализации.

В основном влияние перечисленных проблем на работу ТА может быть учтено с помощью математического моделирования (ММ), однако на сегодняшний день не существует моделей, способных комплексно учитывать как физические, так и конструктивные параметры ТА для решения обозначенных вопросов.

Создание ММ, позволяющей учитывать физические процессы с учетом конструкции ТА, могло бы существенно повысить выбор оптимального сочетания параметров и конструкции ТА, способствовать повышению эффективности ТА, а также расширить возможности существующих и будущих КА.

Литература:

1. Алексеев В. А. Основы проектирования тепловых аккумуляторов космических аппаратов. Монография. – Курск: Наукком, 2016. -248с.
2. Данилин В. Н. Физическая химия тепловых аккумуляторов. -Краснодар: изд-во КПИ, 1981. С.90

### **Анализ баллистического сценария перелета с малой тягой к спутникам Нептуна Тритону и Нериде**

<sup>1</sup>Симбирев Н.А., <sup>2</sup>Суханов А.А., <sup>1</sup>Старинова О.Л.

<sup>1</sup>Самарский университет, г. Самара, Россия

<sup>2</sup>ИКИ РАН, г. Москва, Россия

В работе предлагается возможный сценарий перелета к спутникам Нептуна Тритону и Нериде. В настоящий момент объем существующей информации о Нептуне и его спутниках недостаточен для понимания процессов их формирования и эволюции. Единственное в истории наблюдение спутников с близкого расстояния, которое было осуществлено в 1989 году аппаратом Voyager 2, позволило обследовать 40% поверхности Тритона с расстояния 40

тыс. км. При этом Нереида наблюдалась аппаратом Voyager 2 с расстояния около 4,7 млн. км. Тритон – крупнейший спутник Нептуна и один из крупнейших в Солнечной системе, представляет значительный научный интерес: до настоящего момента остаются мало изученными природа его обширных полярных шапок, его геологическая активность, возможность существования под поверхностью спутника океана жидкой воды, а также состав и происхождение собственной атмосферы. На данный момент предлагается ряд миссий к Тритону (Neptune Odyssey, Trident, Triton Hopper), которые находятся на различных этапах разработки. Отдельных миссий по изучению Нереиды не планируется. В работе представлена схема перелета с использованием гравитационных маневров – двух маневров у Земли и одного маневра у Юпитера – и электроракетных двигателей. Показано, что при начальной массе аппарата 850 кг и длительности миссии 29 лет суммарные затраты рабочего тела составят не более 350 кг. Полученные результаты обеспечиваются применением силовой установки мощностью 3.2 кВт и ионной двигательной установки с удельным импульсом 3500 с и тягой 0,15 Н. Также показано, что в рамках одной миссии возможно изучение Тритона и Нереиды с близкого расстояния. Представленная схема перелета позволяет осуществить пролет обоих спутников на дистанции 10 тыс. км для детального изучения их поверхности.

### **Выявление и локализация сверхмалой утечки атмосферы пилотируемого космического комплекса**

Спирин А.И.

ПАО «РКК «Энергия», г. Королев, Россия

Комфортное и безопасное пребывание экипажа на борту пилотируемых космических комплексов (ПКК) достигается поддержанием стабильного давления воздуха в жилых отсеках. Средства бортовой диагностики непрерывно отслеживают текущий уровень давления и при снижении давления ниже заданного уровня формируют аварийное сообщение о разгерметизации ПКК, потенциально с указанием конкретного отсека, что служит основанием экипажу на выполнение действий по поиску и устранению повреждения герметичной оболочки ПКК.

Поиск места течи может выполняться экипажем визуальным осмотром поверхности оболочки негерметичного отсека ПКК, отслеживанием направления движения незакрепленных предметов, по местонахождению звука истекающего воздуха, а также с помощью компактных теческателей. Известные случаи разгерметизации ПКК показали, что органолептические методы поиска места наиболее эффективны в случаях взрывной, быстрой и медленной разгерметизации, а использование теческателей позволяет ускорить локализацию течи.

В дополнение к автоматизированным методам обнаружения разгерметизации проводится мониторинг статуса утечки атмосферы ПКК аналитическими и статистическими методами. Они применяются на основе анализа полетных данных и направлены на обнаружение сверхмалых утечек атмосферы, не распознаваемых средствами бортовой автоматки.

В случае сверхмалой течи своевременное определение негерметичных мест в оболочке затруднено ограниченной чувствительностью органолептических и инструментальных методов. Вследствие этого локализация повреждений требует проведения анализа событий, происшедших в момент образования течи, конструктивных особенностей отсеков и режимов работы входящего в их состав бортового оборудования, а также применения специальных методов, среди которых:

- Установка герметичных куполов над отдельными частями оболочки, предположительно имеющими повреждения.
- Размещение в изолированном отсеке свободнолетающих частиц с последующим контролем их осадения на оболочке и др.

Проблема сверхмалой утечки атмосферы ПКК вызывает необходимость разработки неинструментальных методов, позволяющих сузить область поиска поврежденных мест. К числу таких может быть отнесено выявление закономерностей движения в изолированном объеме свободнолетающих частиц, как индикаторов мест повреждений, учитывающих:

- Образование струйных течений, как признаков направленного потока воздуха в сторону повреждения.
- Влияние на движение частиц режимов ориентации ПКК, баллистических характеристик орбитального полета и др.

Локализация сверхмалых утечек при подготовке кораблей и модулей ПКК к полету проводится в наземных условиях с использованием технических средств, регистрирующих утечку снаружи объекта контроля. Применение подобного оборудования в процессе космического полета практически невозможно. Это вызывает необходимость разработки и создания специализированных технических средств, позволяющих при повреждении герметичной оболочки ПКК обнаруживать сверхмалые утечки изнутри жилых отсеков. Наличие такого оборудования обеспечит рациональное расходование ресурсов, необходимых для поиска и ремонта повреждений герметичной оболочки ПКК

### **Разработка средства психологического контроля биохимическим методом для длительных космических полетов**

Строгонова Л.Б., Сафронова К.П.  
МАИ, г. Москва, Россия

Для обеспечения безопасности членов экипажа пилотируемой космической экспедиции, возникает острая необходимость в мониторинге психоэмоционального статуса человека, работающего в экстремальных условиях. При этом, психологическая оценка состояния и работоспособности человека является сложной в обработке, а также в методах регистрации изменения психологического статуса человека-оператора. На это влияют следующие моменты: состояния стресса сложны в регистрации и оценке, оценка психолога чаще всего субъективна, космический полет предполагает задержку связи. Существуют исследования, подтверждающие изменение электрофизиологического и гормонального статуса человека в зависимости от его психоэмоционального состояния [1].

Разработка новых метода и средств психологического контроля в экстремальных условиях пилотируемой лунной экспедиции на основе методов математического моделирования и модельных имитационных экспериментов позволит создать более эффективную модель оценки психологического и психофизиологического статуса человека. Данная работа позволит перейти от качественной оценки психологического состояния космонавта к количественной и интеллектуальной, что повышает достоверность оценки и прогноза состояния работоспособности космонавта в длительной космической экспедиции. Предлагается проводить диагностику психофизиологического состояния человека новым биохимическим неинвазивным методом регистрации.

На основе разработанных технических, математических и психофизиологических методов, средств и экспериментальных методик создается система поддержки принятия решений (СППР) в области работоспособности космонавта в условиях длительной работы на обитаемой Лунной базе [2].

Литература:

1. Разработка нового метода медико-психологического контроля на основе биохимических параметров. Сафронова К.П., Строгонова Л.Б. МАИ, Москва, Сборник тезисов работ международной молодежной научной конференции XLVIII Гагаринские чтения 2022. - М.: Издательство «Перо», 2022. - С. 402

2. Структура системы поддержки принятия решений (СППР) для медико-технического обеспечения обитаемой лунной базы. Строгонова Л.Б., Васин Ю.А., Сафронова К.П., Баранов М.С., Научно-технический вестник Поволжья, 2023. - С. 114-117.

### **Теоретико-экспериментальные исследования сжигания элемента оболочки головного обтекателя ракеты-носителя**

Сурикова Ю.В.  
ОМГТУ, г. Омск, Россия

Представлены результаты исследований в рамках концепции утилизации отделяющихся створок головного обтекателя ракеты-носителя путем сжигания при движении на пассивном

участке траектории спуска [1]. Рассмотрен вариант замены материалов трехслойной конструкции на другой тип полимерных композиционных материалов и замена заполнителя на энергетический материал на основе смесевых твердых ракетных топлив [2, 3]. Исследования проводились на демонстрационных образцах, представляющих собой элемент оболочки головного обтекателя ракеты-носителя.

Теоретические исследования по определению геометрического облика заполнителя демонстрационного образца проводились для конструкций различной конфигурации [4]. На основании моделирования процесса тепло- и массообмена определены геометрии образцов из выбранных материалов для последующего изготовления экспериментальных демонстрационных образцов.

Приведены результаты экспериментальных исследований разработанных демонстрационных образцов из выбранных материалов в условиях атмосферного давления. Полученные результаты экспериментальных исследований позволяют оценить принципиальную возможность разрушения конструкции путем сжигания.

Литература:

1. Патент № 2581636 С1, Российская Федерация, МПК F42В 10/46, В64G 1/64. Головной обтекатель ракеты: № 2015105466/11; заявл. 17.02.2015; опубл. 20.04.2016 / Трушляков В.И. и др.; патентообладатель ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет». – Бул. № 11.-13 с.: ил.

2. 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.

3. Arkhipov, V. A. Analyzing the Possibility of Burning the Launcher Nose Cone Elements / V. A. Arkhipov, A. A. Glazunov, et al. // Combustion, Explosion, and Shock Waves. – 2023. – Vol. 59, No. 5. – Pp. 553–562.

4. 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.

### **Проектная оценка надёжности конструктивных решений иллюминаторов с применением теории массового обслуживания**

Уперчук Р.А., Железнов И.В.  
ПАО «РКК «Энергия», г. Королев, Россия

На этапе эскизного проекта зачастую возникает необходимость выбора наиболее подходящего конструктивного решения изделия исходя из множества факторов: материалоемкости, технологичности, ремонтпригодности, эргономики, надёжности и т.д. Использование структурных схем надёжности не всегда приводит к корректному результату, так как не позволяет учесть фактор восстановления системы. Авторами предлагается подход к оценке надёжности конструктивных схем иллюминаторов, включающих в себя восстанавливаемые элементы (защитные крышки, заменяемые обоймы и прижимные кольца), на основе теории массового обслуживания.

На первом шаге необходимо проведение идентификации исходных данных, а именно установить сходства и различия между различными конструктивными схемами иллюминаторов. Они могут отличаться количеством стеклянных дисков, наличием или отсутствием заменяемых защитных крышек, количеством обойм (для одной из них может быть предусмотрена возможность замены). На основании предварительного анализа видов, последствий и критичности отказов следует выявить элементы, возможные отказы которых практически не влияют на работоспособность системы в целом (паронитовые уплотнения, штуцер и ниппель, крепёжные элементы, датчики), и в последующем расчёте они не учитываются.

Вторым шагом является построение графа состояния для каждой конструктивной схемы иллюминаторов [1].

На третьем шаге выполняется составление системы дифференциальных уравнений массового обслуживания на основе графа состояний. Для её решения одно из уравнений заменяется на нормировочное с целью образования полной группы событий, а затем используются численные методы. Авторами делается акцент на необходимости учёта физической непротиворечивости получаемых результатов, так как в отдельных случаях вероятность может оказаться отрицательной, или сумма вероятностей полной группы событий может превышать единицу, всё это может являться следствием накопления вычислительной погрешности.

В процессе анализа результатов предпочтение следует отдавать конструктивному решению, для которого получено наибольшее значение вероятности пребывания в состоянии, соответствующем отсутствию отказов. При этом важно учитывать, что описанный подход предлагается не для определения конкретного значения вероятности безотказной работы (ВБР), а для сравнительного анализа, так как граф состояний не содержит исчерпывающего объёма информации для точного нахождения ВБР [2].

1. Половко, А.М. Основы теории надёжности [Текст] / А.М. Половко, С.В. Гуров / 2-е изд., перераб. и доп. – СПб: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.: илл.

2. Надёжность и эффективность в технике [Текст]: Справочник. / В 10 т. / Ред. Совет: В.С. Авдусевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1988 – (в пер.) Т. 5: Проектный анализ надёжности / Под ред. В.И. Патрушева и А.И. Рембезы. – 316 с.: илл.

### **Создание системы мониторинга некаталогизируемого космического мусора**

Усовик И.В., Морозов А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Космический мусор (КМ) с каждым годом представляет все большую угрозу функционирующим космическим аппаратам (КА), наибольшие риски при этом относятся к некаталогизируемому КМ. Существующих средств мониторинга недостаточно для понимания обстановки и уточнения моделей КМ.

Обзор литературы показал, что к настоящему времени развиваются отдельные средства мониторинга некаталогизируемого КМ, при этом не решается задача создания комплексной системы.

В статье представлены результаты прогнозирования малоразмерного КМ, которые показывают, что рост количества некаталогизируемого КМ превышает рост каталогизируемого, при этом изменение локального распределения в пространстве у него менее подвержено изменению, в связи с инерционностью процессов.

На модельном примере показано, что решение задачи активного удаления некаталогизируемого КМ не реализуемо в ближайшей перспективе.

Представлены предложения по созданию комплексной системы мониторинга некаталогизируемого КМ, состоящей из наземных средств мониторинга, КА дистанционного и контактного мониторинга, которые в совокупности дают максимально возможный на сегодня объем информации.

Для определения оптимального расположения наземных средств, орбит КА и характеристик их целевой аппаратуры необходимо создание соответствующих методов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-01252, <https://rscf.ru/project/23-79-01252/>

1. Назаренко А.И. Задачи стохастической космодинамики. М.:URSS. 2018. 352 с.

2. Мониторинг техногенного засорения околоземного пространства и предупреждение об опасных ситуациях, создаваемых космическим мусором/ под ред. Ю.Н.Макарова. Монография – ЦНИИмаш, 2015. - 244 с.

3. Миронов В.В., Муртазов А.К., Усовик И.В. Системные методы мониторинга ОКП // Рязань:Bookjet, 2018. - 313 с.

4. Усовик И.В. Системный анализ проблем космического мусора. И:Изд. МАИ. 2023. 86 с.

5. Space-track / [Электронный ресурс] Режим доступа - [space-track.org](https://space-track.org) (дата обращения: 24.05.2022).

6. ESA'S Annual space environment report. [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <http://sdup.esa.int> (дата обращения: 02.08.2023).

7. Orbital debris quarterly news [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <http://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/newsletter/newsletter.html> (дата обращения: 02.08.2023).

**Конструкторско-технологическая проработка экспериментальной модели ЖРД для создания технологического процесса сборки и сварки крупногабаритных блоков при общей сборке двигателя без использования ступельной оснастки**  
Черных А.С.

АО «КБХА», г. Воронеж, Россия

Поставленная перед АО КБХА задача по созданию двигателя на метане с тягой 85 тонн уже на этапе предварительного проектирования и создания концептуальных моделей агрегатов показала необходимость применения расчетных стенок наиболее нагруженных частей ЖРД большей толщины, чем привычно применяемые на серийных двигателях. Разрабатываемый опытный образец кислородно-метанового двигателя, предназначен для отработки технологии подготовки и проведения испытаний, исследования процессов и параметров двигателя при работе на режимах запуска, предварительном, основном и конечном режимах и останова с любого режима, определения характеристик основных агрегатов. Создание двигателя – первопроходца в отрасли в заданные сроки требует максимально коротких сроков подготовки производства и максимального исключения средств технологического изготовления, для агрегатов, которые могут претерпеть значительное изменение конструкции по результатам проведения автономных или огневых испытаний.

Современным этапом развития ЖРД является применение криогенных компонентов топлива в виде сжиженных газов в качестве горючего. Это требует больших значений давления в КС, чем у керосинового двигателя, но при этом упрощает задачу по организации охлаждения огневой стенки и делает возможным многократное использование ЖРД.

Проведенные таким образом работы по конструкторско-технологической проработке экспериментальной модели ЖРД для создания технологического процесса сборки и сварки крупногабаритных блоков при общей сборке двигателя позволили минимизировать долю ручной сварки в монтажных условиях, переведя ее на автоматические установки, что в сочетании с изменением применяемой технологии сварки на более благоприятную по термическому циклу для никелевых сплавов должно обеспечить высокое качество соединений и полноценное проведение НК.

Сборка на прихватках соединений с переплавляемыми и остающимися замковыми элементами, обеспечивающими соосность сборки, и за счет общей сборки ЖРД по фланцевым соединениям хомутами позволяет исключить необходимость разработки и изготовления ступельной оснастки для сборки блоков двигателя на этапе его отработки, при которой существует высокая вероятность изменения КД.

Литература:

1. Г.Ф. Кошелева, Б.А. Карданов и др. // Структура и свойства жаропрочных металлических материалов. – М.: Наука, 1967. 186 с.
2. Марочник сталей и сплавов: <http://www.lasmet.ru>
3. Жидкостные ракетные двигатели; М.В. Добровольский; г. Москва. 474 с.
4. Жидкостные ракетные двигатели; <https://avia.pro/blog/zhidkostnyy-raketnyy-dvigatel>
5. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Макаров, В.М. Неровный. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.

## **Проектно-баллистический анализ выведения космического аппарата на гелиоцентрическую орбиту с наклоном 30 градусов к плоскости солнечного экватора**

Шевченко В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В связи с необходимостью расширения транспортных возможностей современных космических транспортных систем в данной работе проанализирована многоточечная задача, связанная с оптимизацией сложных схем межпланетных перелетов космических аппаратов (КА), оснащенных химической и электроракетной двигательной установками.

В работе проанализирована схема выведения КА на рабочую гелиоцентрическую орбиту с наклоном к плоскости солнечного экватора, равным 30°. Ограничениями, связанными с особенностями конструкции аппарата, являются: ограничения на радиус перицентра - не менее 60 и не более 130 радиусов Солнца, а также длительность выведения КА – не более 5 лет.

Особенностью выбранной схемы перелета являются пассивные гравитационные маневры у Земли и Венеры с целым числом резонансов, позволяющие реализовать необходимое наклонение за достаточно короткий срок.

Схема выведения КА на последнюю рабочую гелиоцентрическую орбиту состоит из следующих участков:

1. Запуск КА ракетой-носителем «Союз-2.1б».
2. Разгонный блок «Фрегат» обеспечивает отлёт КА из окрестности Земли с оптимизируемой величиной гиперболического избытка скорости.
3. Электроракетная двигательная установка с одним двигателем «СПД-140Д» обеспечивает гелиоцентрический перелет Земля-Земля.
4. Выполняется гравитационный манёвр у Земли. Он считается пассивным, как и все последующие гравитационные маневры. Минимальная высота пролёта у Земли и Венеры рассматривается равной 400 км.
5. На гелиоцентрическом участке перелета Земля-Венера также возможно включение электроракетной двигательной установки.
6. На дальнейшей траектории перелета возможность включения маршевого двигателя КА отсутствует.
7. Проводится серия пассивных гравитационных маневров у Венеры с порядком резонансов 1:1 (период орбиты Венеры равен периоду КА).

Характеристики схемы выведения КА находились из решения краевой задачи принципа максимума Понтрягина, которая позволила свести оптимизационную проблему к краевой задаче для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Критерием оптимизации рассматривалась масса КА, выведенного на конечную гелиоцентрическую орбиту.

Результаты численного исследования: оптимальной датой старта с опорной околоземной круговой орбиты является 9 ноября 2031 года. Импульс скорости разгонного блока составил 3469 м/с. Он обеспечивает гиперболический избыток скорости при старте от Земли равный 1308 м/с. Длительность перелета Земля-Земля составила 439 суток, Земля-Венера – 55 суток. Величина гиперболического избытка скорости при отлете от Земли после гравитационного маневра равна 7,685 км/с. Суммарные затраты ксенона на траектории Земля-Земля-Венера – 357,7 кг. Конечная масса КА составила 1508 кг. Для достижения наклона 30° к плоскости солнечного экватора КА выполнил у Венеры 3 гравитационных маневра с целым числом витков. Длительность всей миссии составила 3,2 года.

## **Проектный анализ формы корпуса десантного модуля с роторной системой**

Шерemet A.A., Воронцов В.А.

МАИ, г. Москва, Россия

На поверхности планеты температура достигает 480 °С (753 К) и давление 9,2 МПа (91 атм). Кроме того, основной конструктивный элемент, как корпус-сфера, должен обеспечивать минимальные прогибы, достаточную жесткость и гашение вибрации, при этом

вес должен быть сведен к минимуму, а уложенный космический аппарат должен соответствовать размерам защитной оболочки спускаемого аппарата [1].

Все основные конструктивные элементы изготовлены из титанового сплава (ВТ6). Окружающая среда с высоким давлением вызывает

потенциальные проблемы, связанные с деформацией «прогибом» конструкции. Сфера, как главная составляющая аппарата, была проверена на деформацию «прогиб», и толщина стенки была указана таким образом, чтобы свести риск деформации к минимуму.

Для определения внешнего давления, вызывающего деформацию сферы, использовалось уравнение, представленное формулами Янга и Будинаса Рорка для напряжения и деформации. Уравнение представляет вероятное фактическое минимальное давление, вызывающее деформацию [2]. Переменными из уравнения являются:  $P$  - давление, вызывающее деформацию (МПа);  $E$  - Модуль Юнга (ГПа);  $t$  - толщина стенки сферы (мм);  $r$  - радиус сферы (мм).

Из уравнения представленное формулами Янга и Будинаса Рорка для напряжения и деформации была найдена толщина [3].

Перепад давления на оболочке сферы составляет 9,20 МПа. Модуль Юнга титанового сплава ВТ6 составляет 95 ГПа, а радиус сферы равен 300 мм. Решение уравнения для толщины стенки и применение коэффициента запаса прочности 1,5 приводят к минимальной толщине стенки 7,3 мм.

Для того, чтобы определить, выдержит ли сфера с заданными параметрами диаметром 600 мм и толщиной стенок 7,3 мм внешнее давление 9,2 МПа, можно использовать формулу, описывающую напряжения в сфере, известную как формула Ламе. Переменными из уравнения являются:  $\sigma$  - напряжение в материале (Па);  $P$  - внешнее давление (Па);  $D$  - диаметр сферы (мм);  $t$  - толщина стенки сферы (мм).

Напряжение в материале составляет приблизительно 222,5 МПа. Учитывая, что материал сферы титановый сплав ВТ6 определяем, может ли данный сплав выдержать это напряжение.

Для титана ВТ6 модуль Юнга составляет примерно 97 ГПа [4]. Чтобы определить, может ли сфера выдержать данное напряжение, используется условие прочности при растяжении  $\sigma \leq Y/S$ , где  $Y$  - предел прочности материала (МПа);  $S$  - коэффициент прочности.

Предел прочности титана ВТ6 может варьировать от 830 Мпа до 1035 МПа, но предположим, что предел прочности составляет 830 МПа.

Теперь проверим условие прочности:  $222,5 \text{ МПа} \leq 553 \text{ МПа}$ .

Условие прочности выполняется, так как напряжение в материале меньше предела прочности и учетного коэффициента прочности.

Следовательно, сфера с заданными параметрами (диаметром 600 мм и толщиной стенок 7,3 мм) должна выдержать внешнее давление 9,2 МПа без разрушения.

Литература:

1. Москаленко Г.М. Механика полета в атмосфере Венеры. - М.: Машиностроение, 1978. - 232 с., ил.
2. Oleson, Steven R.: Concurrent Multidisciplinary Preliminary Assessment of Space Systems (COMPASS) Final Report: Advanced Long-Life Lander Investigating the Venus Environment (ALIVE), 2018.
3. Roark, R. J.: "Formulas for Stress and Strain," 4th ed., McGraw-Hill, 2002.
4. ГОСТ Р 8.982-2019. Титановые сплавы марки ВТ. Скорость звука, относительное температурное расширение, плотность и модуль Юнга в диапазоне температур от 20 °С до 800 °С

### **Обоснование выбора технического облика и состава элементов улучшенных гидроагрегатов трансмиссии перспективных комплексов**

Ющук Р.В., Мазлумян Г.С.  
МАДИ, г. Москва, Россия

В условиях непрерывного совершенствования вероятным противником способов и средств разведки и поражения ракетных комплексов стратегического назначения определяющим

фактором при формировании технического облика, боевых и эксплуатационных характеристик автономных пусковых установок перспективных подвижных грунтовых ракетных комплексов (АПУ ПГРК) является живучесть. Основными направлениями повышения живучести перспективных подвижных грунтовых ракетных комплексов являются повышение эффективности средств боевого управления и связи, боеготовности, подвижности, скрытности функционирования, защищенности и автономности их основных элементов, таких как подвижные командные пункты и автономные пусковые установки.

Мобильность является одним из основных свойств, обеспечивающих их быстрое рассредоточение с целью защиты или сосредоточения при концентрировании сил в боевой позиции. Подвижность во многом зависит от характера местности, по которой происходит движение. В середине 60-х годов в качестве критерия подвижности единогласно была принята скорость между двумя точками заданной местности, которая получила название ползено обеспеченной скорости.

Для улучшения показателей живучести было принято решение улучшить такой показатель живучести, как подвижность, включающий в себя проходимость и маневренность. Улучшение возможно в случае применения в стандартной трансмиссии АПУ ПГРК комбинированного гидротрансформатора. Результаты испытаний стандартного и улучшенного гидротрансформатора показали, что новая конструкция и использование феррофлюида в качестве рабочей жидкости дает преимущества перед гидротрансформатором стандартной конструкции.

Для решения научной задачи необходимо разработать и обосновать совокупность научных результатов, позволяющих осуществить выбор варианта рационального построения технического облика комбинированного магнитожидкостного гидротрансформатора АПУ ПГРК с применением магнитожидкостных технических средств с учетом множества возможных вариантов условий движения и множества возможных концепций применения АПУ ПГРК, при котором результат решения будет удовлетворять цели исследования, показателю и критерию эффективности, обеспечивать требуемый уровень живучести со скоростью, не превышающей скорость безопасного движения и исключая недопустимое воздействие на транспортируемый груз.

Литература:

1. Ерачёв, П.С. Проходимость машин / П.С. Ерачёв. – Москва: Военное издательство, 2003. – 66 с.
2. Ерачёв, П.С. Вездеход / П.С. Ерачёв. – Москва: Военное издательство, 1994. – 30 с.
3. Босов А.А., Кодола Г.Н., Савченко Л.Н. Векторная оптимизация по двум показателям. Журнал «Наука и прогресс транспорта» Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта, 2007. - С. 134-137.
4. Моисеев Н.Н. Математические методы системного анализа М.: Наука, 1981, 487 с.
5. Ланге О. Оптимальные решения. М. Прогресс, 1967.
6. Р.Л. Кини, Х.Райфа Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.:Радио и связь, 1981.
7. Такетоми, С. Магнитные жидкости. Учебное пособие. Глава 2 / С. Такетоми, С. Тикадзуми. – Москва: Мир, 1993. – 158 с.

### **Постановка задачи выбора схемных решений мультироторного летательного аппарата как технического средства исследования Венеры**

Яценко М.Ю., Воронцов В.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Разработка проектов по запуску исследовательских экспедиций на планету Венера на данный момент является одним из приоритетов российских ученых [1,2].

В дополнение к существующим техническим средствам исследования Венеры – посадочным аппаратам и аэростатным зондам, авторами предложено такое новое техническое средство исследования атмосферы и поверхности этой планеты, как мультироторный летательный аппарат (МРЛА) [3,4].

Посредством МРЛА предполагается расширить схему эксперимента по изучению Венеры, поэтому необходимо разрабатывать схемные решения такого технического средства, охватывающие разные уровни детализации, в частности, подсистемы и надсистемы.

Постановка задачи сформулирована следующим образом: выбор схемных решений мультироторного летательного аппарата как технического средства исследования, обеспечивающих оптимальные значения выбранных критериев эффективности при заданных исходных данных о массово-габаритных, конструктивно-компоновочных параметрах базового аппарата (надсистемы) и параметрах состояния атмосферы Венеры.

Таким образом, данная задача разбивается на две подзадачи:

1. схемные решения в части расположения МРЛА в базовом аппарате (т.е. в составе надсистемы);
2. схемные решения ввода в действие МРЛА в атмосфере Венеры и выполнения траекторных операций.

Для каждой подзадачи выбраны критерии эффективности. Каждому схемному решению соответствует перечень сформировавшихся признаков. В частности, для подзадачи 1 это: зона размещения, компоновка и геометрия МРЛА и его подсистем, тип аппарата по количеству винтов, тип полезной нагрузки и др., а для подзадачи 2 – момент ввода в действие, область ввода и эшелон высот, этапность ввода, тип системы разделения.

Литература:

1. Борисов обсудил с учеными приоритетные задачи России по исследованию космоса // Сайт Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос». URL: <https://www.roscosmos.ru/38144/> (дата обращения: 20.10.2023).

2. Российской академия наук. Совет по космосу. Российская программа исследований Венеры: решение совета Российской академии наук по космосу №10310-07 от 16 сентября 2020 г. – Текст: электронный. – URL: <http://sovet.cosmos.ru/sites/default/files/res7-16-09-20.pdf> (дата обращения: 21.10.2023).

3. Яценко М.Ю., Воронцов В.А. К вопросу о включении в программу исследования Венеры дополнительных технических средств // Космические аппараты и технологии. – 2022. – Т.6. №1 (39). – С. 5-13. (DOI: 10.26732/j.st.2022.1.01)

4. Яценко М.Ю., Воронцов В.А. Концепция исследования Венеры с помощью мультироторного летательного аппарата // Сборник избранных научных докладов по итогам XLVI Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения» – М.: МАИ, 2020. – С.311-321.

5. Воронцов В.А., Малышев В.В., Пичхадзе К.М. Системное проектирование космических десантных аппаратов. – М.: Изд-во МАИ, 2021. – 256с.

## 6. Робототехника, интеллектуальные системы и авиационное вооружение

### Исследование устойчивости роевой системы, функционирующей по методу квазитеплого движения

Гейс Э.А., Козырь А.В.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Проявляется большой интерес к роевым системам, где агентом является физический объект, например, беспилотный летательный аппарат. Существует много методов группового управления летательными аппаратами, использование которых позволяет выполнять задачи разведки территории [1], проведение поисково-спасательных операций [2] и др. Масштабируемость – одно из свойств роевой системы, дающих ей преимущество при выполнении вышеописанных задач. Концепция разработанного метода группового управления, названного методом квазитеплого движения [4], обеспечивает масштабируемость. Суть метода заключается в обеспечении поведенческого повторения агентами роя (летательными аппаратами) теплового движения атомов, что позволяет использовать скалярные интегральные параметры: «температуру», «энтальпию», «давление», для проектирования роевой системы значительной численности.

Масштабирование роевой системы накладывает требования к системе связи. Параметры необходимой системы связи зависят от метода группового управления, требующего, высокую частоту обмена данными между агентами, низкое транспортное запаздывание и значительную дальность передачи данных. Метод квазитеплого движения основан на методе потенциального поля, поэтому его использование для группового управления снимает высокие требования дальности передачи данных – данные передаются только между соседними агентами.

На основе численных экспериментов проанализирована устойчивость роевой системы при изменении частоты обмена данными между соседними агентами. Под устойчивостью роевой системы, функционирующей по методу квазитеплого движения, понимается её способность сохранять с течением времени среднеквадратичную скорость агентов. На данном этапе работы транспортное запаздывание сети информационного обмена не учитывалось.

В качестве модели агентов использовались квадрокоптеры массой 0,5 кг. Использование метода квазитеплого движения предполагает обмен фазовыми координатами между агентами. На их основе в момент времени между приемом и передачей пакетов данных координаты соседних агентов в земной системе координат корректируются интегрированием вектора скорости.

Результаты экспериментов показывают, что изменение среднеквадратичной скорости за время моделирования 30 минут для 25 агентов не превышает 5% при частоте обмена данными не менее 3 Гц. При дальнейшем моделировании среднеквадратичная скорость продолжает возрастать, поэтому, если требуется большее время работы роевой системы, то частота обмена данными должна возрасти до 4-5 Гц. Частота обмена данными 3-5 Гц обеспечивается распространенными недорогими радио модулями, что позволяет проектировать роевые системы, функционирующие по методу квазитеплого движения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания по теме FEWG-2022-0003.

Литература:

1. Feng L. Vector field based control of quadrotor uavs for wildfire boundary monitoring / L. Feng, J. Katupitiya // Journal of Intelligent & Robotic Systems. – 2022. – Vol. 106. – № 1. – P. 27.
2. Alotaibi E. T. LSAR: Multi-UAV Collaboration for Search and Rescue Missions / E.T. Alotaibi, S.S.Alqefari, A.Koubaa // IEEE Access. – 2019. – Т. 7. – С. 55817-55832.
3. Heiss E. Assessing the similarity of atoms' thermal motion behavior by swarm agents / E.Heiss, O.Morozov, A.Efremeev // Proceedings of 2022 4th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – Lipetsk: IEEE, 2022. – P. 92-96.

## Задача планирования оптимального маршрута облета необорудованных вертодромов

Ермаков П.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается задача планирования оптимального маршрута облета необорудованных вертодромов беспилотным воздушным судном (БВС) вертолетного типа с дальнейшей целью повышения безопасности посадки воздушного судна на земную поверхность.

Предполагается, что построение маршрута облета вертодромов происходит при наличии следующей информации:

1) Вероятность пригодности того или иного необорудованного вертодрома. Методика определения данной вероятности описывалась в предыдущей работе автора [1].

2) Априорный риск отказов бортовых систем рассматриваемого воздушного судна, зависящий от времени эксплуатации БВС [2, 3].

3) Собственные горизонтальные координаты БВС вертолетного типа и соответствующие им среднеквадратические ошибки (СКО).

4) Координаты центров необорудованных вертодромов, получаемые из цифровой карты местности (ЦКМ).

5) Неточность позиционной информации ЦКМ.

6) Летно-технические характеристики БВС вертолетного типа.

Конструирование маршрута облета необорудованных вертодромов производится с учетом суммарных потерь, затрачиваемых на перелет к некоторому вертодрому. Оптимальным маршрутом будет являться тот, при котором достигается минимум функции суммарных потерь [4,5].

Верификация предлагаемого решения задачи планирования оптимального маршрута облета необорудованных вертодромов производилась с использованием специального программно – математического оборудования (ПМО). По полученным результатам имитационного моделирования можно утверждать следующее:

1) Худшее состояние бортовых систем БВС вертолетного типа снижает влияние вероятности пригодности необорудованного вертодрома при его выборе, приоритетным в данном случае будет являться ближайший вертодром к БВС;

2) СКО определения горизонтальных координат БВС вертолетного типа и неточность позиционной информации ЦКМ делают менее значимым вклад ошибочно прогнозируемых энергетических затрат на перелет БВС к вертодрому при решении задачи оптимального планирования маршрута облета необорудованных вертодромов.

Таким образом, рассматриваемая задача формирования оптимального маршрута сведена к задаче оптимизации, где с помощью представления функции суммарных затрат учитываются приведенные выше факторы при выборе того или иного необорудованного вертодрома.

Литература:

1. Ермаков П.Г. Определение угла наклона необорудованной посадочной площадки беспилотного воздушного судна на основе априорной информации цифровой карты местности // XLIX Международная молодежная научная конференция “Гагаринские чтения”, Москва, 11-14 апреля 2023 г. Тезисы доклада. С. 510 – 511.

2. ГОСТ Р 27.013-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность в технике. Методы оценки показателей безотказности

3. Антохин Е.А., Панасенко Н.Н., Атакишев О.И., Чернова П.Д. Обеспечение безопасности испытаний беспилотных летательных аппаратов военного и специального назначения // Известия института инженерной физики. 2019. №2(52). С.71-76.

4. Моисеев Д.В., Чинь В.М., Мозолев Л.А., Моисеева С.Г., Фам С.К. Маршрутизация полета легкого беспилотного летательного аппарата в поле постоянного ветра на основе решения разновидностей задачи коммивояжера // Труды МАИ. 2015. № 79.

5. Подлипьян П.Е., Максимов Н.А. Многофазный алгоритм решения задачи планирования полета группы беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2011. № 43.

## **Применение принципа межвидовой унификации при проектировании конструктивной компоновки ЛМУР класса «воздух-поверхность»**

<sup>1</sup>Малолетнева П.М., <sup>2</sup>Захаров И.В.

<sup>1</sup>ООО ИЦ «АСК», <sup>2</sup>МАИ, г. Москва, Россия

Опыт проведения СВО на Украине показал высокую эффективность тактики одиночной охоты в условиях высокой осведомленности противника разведанными НАТО о перемещении наших самолетов и вертолетов, а также применения противником тактики действий ПВО из засад.

Для минимизации потерь авиационной техники и летного состава ВКС в данных условиях наиболее целесообразно применение БПЛА с легкими малогабаритными УАР (ЛМУР) для уничтожения оперативно выявленных целей противника.

В качестве предполагаемого носителя заказчиком был задан БПЛА «Орион-03». В качестве прототипа ЛМУР была выбрана УАР класса «воздух-воздух» малой дальности изделия 62М, которое наиболее подходит в приемлемом диапазоне характеристик для модернизации под задачи поражения наземных целей с указанного БПЛА.

В рамках модернизации изделия 62М для выполнения задач ЛМУР класса «воздух-поверхность» было выполнено проектирование конструктивной компоновки ракеты на основе принципа межвидовой унификации.

Так, из второго отсека ракеты-прототипа была изъята штатная стержневая боевая часть, а из передней части четвертого отсека был изъят неконтактный радиолокационный взрыватель. Для придания ЛМУР нового качества – бронепробиваемости по заданной совокупности целей противника, в рамках межвидовой унификации во втором отсеке ракеты установлена кумулятивная боевая часть 9Н122М с предохранительно-детонирующим механизмом 9Э234М, что обусловлено схожестью ее массогабаритных характеристик для установки во второй отсек ракеты-прототипа.

Для повышения могущества модернизированной ракеты и сохранения ее центровочных характеристик, вместо изъятых неконтактных радиолокационных взрывателей в четвертом отсеке установлена дополнительная осколочно-фугасная боевая часть с ПИМ И-356. Для надежного срабатывания кумулятивной боевой части до ее возможной деформации при встрече с целью в передней части ГСН ракеты установлены дополнительные реакционные контактные датчики цели 108Д5.

Для обеспечения наилучших условий прохождения кумулятивной струи кумулятивной БЧ проведена модернизация конструкции ГСН, введена центральная полость и изменен монтаж электронных плат. Таким образом, данный подход на основе модернизации ракеты-прототипа с использованием принципа межвидовой унификации позволяет сэкономить примерно на 40-60% сроки проектирования ЛМУР, стоимостные затраты и потребные трудозатраты.

## **Создание беспилотного экраноплана и разработка схемы взаимодействия в составе группы для обеспечения территориальной безопасности в прибрежной зоне, а также для решения мониторинговых, исследовательских и транспортных задач**

Петрухин В.А., Балабанова В.А., Юрьев А.И.

МАИ, г. Москва, Россия

В качестве исходной аэродинамической схемы разработанного экраноплана была применена схема "Коллиз", с использованием, расположенной в носовой части гидрорыжи. Данная схема позволяет осуществлять запуск аппарата не только специальными устройствами (катапульты, стартовыми или разгонными агрегатами), но и непосредственно с водной поверхности с использованием бортовой силовой установки. В работе представлены результаты комплексного исследования современных беспилотных экранопланов, основная направленность исследования была на применяемые в настоящее время инновационные технологии в ракетно-космической и авиационной отраслях. А также проведен анализ существующих аэродинамических схем, а также разрабатываемых в настоящее время систем управления на базе искусственного интеллекта, современных композиционных материалов и металлических сплавов. Особое внимание в работе уделено

разработке группового управления беспилотными экранопланами, обеспечивающего функционирование и взаимодействие с другими вспомогательными объектами внешней инфраструктуры с обеспечением высокой степени надёжности и безопасности. В качестве составляющих элементов комплекса управления рассматриваются: наземные системы, беспилотные ЛА (дроны), системы космической навигации и т.д. В работе представлены результаты исследования различных аэродинамических компоновок, обеспечивающих различные варианты управляемости и устойчивости. Проведено имитационное моделирование с учетом требований к снижению воздушного сопротивления и стабилизации подъемной силы. В качестве дальнейших исследований рассматриваются возможные компоновочные решения в зависимости от бортового оборудования, решаемых задач и вида полезной нагрузки.

### **О вопросах применения шарико-винтовых передач с сепаратором в составе электромеханических приводов летательных аппаратов**

Подшибнев В.А., Абдулин Р.Р.

АО МНПК «Авионика», г. Москва, Россия

В настоящее время в авиационной технике широкое применение получили электромеханические приводы поступательного действия. В качестве выходной механической передачи в таких приводах, как правило, применяется шарико-винтовая передача (ШВП). На этом основании, выбор типа ШВП является важной задачей при разработке конструкции привода.

В данной работе проведен сравнительный анализ различных типов ШВП, разрабатываемых и изготавливаемых отечественными и зарубежными фирмами, по нагрузочным и массогабаритным характеристикам, КПД, технологичности, надежности и стоимости. Рассматриваются катаные и шлифованные ШВП с различными конструкциями гаек, в том числе и ШВП с сепаратором [1], разработанные на АО МНПК «Авионика» совместно с кафедрой «Системы приводов авиационно-космической техники» МАИ.

Показано, что ШВП с сепаратором является наиболее технологичной и дешевой передачей, однако обладает несущественно меньшей нагрузочной способностью и КПД по сравнению с другими типами ШВП.

Приведены результаты экспериментальных исследований различных образцов ШВП с сепаратором, подтверждающие их расчетные характеристики.

Имеющийся на сегодняшний день на АО МНПК «Авионика» научно-технический задел в части проектирования ШВП с сепаратором позволяет обеспечить технологическую независимость от предприятий, специализированных на изготовлении ШВП, при проектировании и изготовлении исполнительных механизмов электромеханических приводов поступательного действия.

1. Заец В.Ф., Абдулин Р.Р., Хлупнов А.Ю. и др. Электромеханический привод поступательного действия. Патент РФ 2017104322. Заявл. 10.02.2017, опубл. 06.11.2018.

### **Анализ прочности высоконагруженного корпуса летательного аппарата из интерметаллида**

<sup>1</sup>Тишков В.В., <sup>2</sup>Матковский Н.О., <sup>2</sup>Гусев А.Н.

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>АО «ГосМКБ «Вымпел» им. И.И. Горопова», г. Москва, Россия

Проектирование современного ЛА требует новых конструктивных решений, использования принципиально новых материалов и технологических процессов их изготовления. В качестве объекта исследования выбран корпус ЛА. Моделирование аэродинамического нагрева ЛА показало, что температура корпуса отсека, изготовленного из титанового сплава ВТ20, достигает значений свыше 800°C на существенном для выбранного типа ЛА временном участке. Воздействие данного температурного уровня на ЛА приведет к потере несущей способности корпуса. Одним из способов решения проблемы является замена данного титанового сплава на новый тип материалов. В [1] приведен анализ развития жаропрочных титановых сплавов. Рабочая температура интерметаллидов варьируется от 650°C до 850°C. Авторами проведено сравнение сплавов на основе  $\gamma$ -фазы

(TiAl): Ti-(45-48)Al-(0-5,0)Ta, W, Nb-(0-2,0)Mn, Cr, V, % ат. Показано, что представленные сплавы обладают преимуществом по пределу длительной прочности и предельной рабочей температуре в сравнении с VT20. В [2] отмечено, что сплавы на основе соединения Al<sub>2</sub>Ti обладают низкой плотностью, высокой удельной прочностью при температурах до 950°C. Отмечена высокая прочность при сжатии и стойкость к окислению при высоких температурах. Испытания в циклических окислительных тестах в диапазоне температур от 800°C до 1000°C показали, что содержание в сплаве тантала существенно улучшает антикоррозионную устойчивость интерметаллидов TiAl, повышая возможную эксплуатационную температуру до 1000°C [3]. В [4] приведены сравнительные характеристики интерметаллидных сплавов. Сплавы TiAl обладают длительной прочностью 250/190 МПа (100 ч) при температуре 800°C и пределом прочности 500-450 МПа.

Численное моделирование расчетного случая нагружения показало, что корпус ЛА, изготовленный из сплава VT20, не удовлетворяет условиям прочности: коэффициент запаса прочности  $n < 1$  на половине рассматриваемого участка работы. Однако использование интерметаллида TiAl позволило обеспечить прочность силовой конструкции:  $n > 1$  на всем участке работы конструкции. Моделирование аэродинамического нагрева ЛА показало, что большие значения коэффициента теплопроводности интерметаллида TiAl не влияют на скорость его прогрева. Меньший параметр удельной теплоемкости VT20, на температурном промежутке 100-500°C, несущественно повысил уровень температуры VT20 на начальном участке. Однако следует избегать больших контактных участков нетеплоизолированных элементов аппаратуры с материалом TiAl. Плотность материала TiAl ниже, чем у VT20 на 10%, что окажет положительное влияние на общий удельный вес ЛА.

Литература:

1. Польшкин, И. С. Интерметаллиды на основе титана / И. С. Польшкин, О. Н. Гребенюк, В. С. Саленков // Технология легких сплавов. – 2010. – № 2. – С. 5-15.

2. Перспективные интерметаллидные Al<sub>2</sub>Ti сплавы для изготовления деталей литейными методами (обзор) / А. В. Трапезников, В. И. Иванов, Е. А. Прохорчук, Ю. В. Решетников // Труды ВИАМ. – 2021. – № 5(99). – С. 23-38.

3. Применение микроструктурированных интерметаллидов в турбостроении. Часть II: Проблемы разработки жаропрочных сплавов на основе TiAl / А. В. Картавых, С. Д. Калошкин, В. В. Чердынцев [и др.] // Материаловедение. – 2012. – № 6. – С. 3-13.

4. Иванов, В. И. Эффективность применения жаропрочных сплавов на основе интерметаллидов Ti<sub>3</sub>Al и TiAl для работы при температурах 600-800°C в авиакосмической технике / В. И. Иванов, К. К. Ясинский // Технология легких сплавов. – 1996. – № 3. – С. 7-12.

### **Технологические решения использования коллаборативных робототехнических систем для поддержания внутрикорабельной деятельности экипажей пилотируемых лунных экспедиций**

<sup>1</sup>Чеботарев Ю.С., <sup>1</sup>Кикина А.Ю., <sup>1</sup>Камалетдинова Г.Р., <sup>2</sup>Дикарев В.А.

<sup>1</sup>МАИ, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБУ «НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина», Звездный городок, Россия

Во время пилотируемого космического полета, предполагающего перелет и работу в лунных экспедициях, предполагается деятельность космонавтов в агрессивных условиях рабочей среды.

Для поддержания операторской деятельности экипажей пилотируемых лунных экспедиций предлагается использование коллаборативных робототехнических систем (РТС), для чего необходимо исследование вариантов РТС, интерфейсов взаимодействия оператора с РТС, а также в перспективе обеспечение работоспособности коллаборативного робототехнического комплекса [1].

Таким образом, целью работы явилось исследование технологий для выполнения следующих задач:

1. Оценка факторов, влияющих на вестибулярную устойчивость космонавта при выполнении задач управления РТС АТ в ВС.

2. Исследование вестибулярной устойчивости операторов при управлении РТС в виртуальной среде деятельности с фиксацией данных в системе регистрации результатов применения РТС [2].

3. Исследование операторской деятельности посредством физических образцов РТС.

4. Исследование проблемы и способов приведения соответствия кинематических характеристик исполнительных и задающих устройств РТС [3].

Литература:

1. 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.

2. Чеботарев Ю.С., Дикарев В.А. О некоторых направлениях обеспечения коллаборативного взаимодействия космонавтов с робототехническими системами для пилотируемых космических полетов. //Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника» (Proceedings of the International scientific and technological conference «Extreme robotics»). – 352 с. – 10.31776/ConfER.32.2021. – С. 65-77.

3. 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.

#### **Исследование возможностей использования робототехнических систем для поддержания внекорабельной деятельности экипажей лунных экспедиций в формировании сотрудничества человека-машинного взаимодействия**

<sup>1</sup>Чеботарев Ю.С., <sup>1</sup>Кикина А.Ю., <sup>1</sup>Белозерова И.Н., <sup>2</sup>Дикарев В.А.

<sup>1</sup>МАИ, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБУ «НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина», Звездный городок, Россия

При осуществлении пилотируемых космических полетов в будущих лунных экспедициях предполагается деятельность космонавтов в агрессивных условиях рабочей среды, причем данный фактор значительно усиливается при выполнении космонавтами внекорабельной деятельности.

Для поддержания операторской работы экипажей пилотируемых лунных экспедиций предлагается использование коллаборативных робототехнических систем (РТС), для чего необходимо исследование вариантов РТС, интерфейсов взаимодействия оператора с РТС, а также, в перспективе, обеспечение работоспособности коллаборативного робототехнического комплекса, в том числе с использованием технологии искусственного интеллекта [1].

В работе рассматриваются вопросы:

- Изучения механизмов адаптации человека по использованию РТС для поддержания операторской деятельности экипажей при реализации перспективных пилотируемых космических программ в условиях изоляции в гермообъекте с искусственной средой обитания [2,3];

- Подходов к формированию микроклимата сотрудничества по направлению «Космическая робототехника» во взаимодействии «Человек – машина» и «Машина-машина».

Литература:

1. 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.

2. Чеботарев Ю.С., Дикарев В.А. О некоторых направлениях обеспечения коллаборативного взаимодействия космонавтов с робототехническими системами для пилотируемых космических полетов. //Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника» (Proceedings of the International scientific and technological conference «Extreme robotics»). – 352 с. – 10.31776/ConfER.32.2021. – С. 65-77.

3. 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.

## 7. Математические методы и информационные технологии в аэрокосмической науке и технике

### Анализ устойчивости коллинеарной точки либрации в плоской ограниченной эллиптической фотогравитационной задаче трёх тел

Авдюшкин А.Н., Бардин Б.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается движение тела пренебрежимо малой массы под влиянием сил гравитационного притяжения и репульсивных сил светового давления со стороны двух массивных тел, движущихся по эллиптическим орбитам вокруг центра масс системы. Тело малой массы всё время располагается в плоскости орбит массивных тел. В такой постановке данная задача носит название плоской ограниченной эллиптической фотогравитационной задачи трёх тел. Данная задача имеет хорошо известное частное решение, описывающее движение, при котором тело малой массы находится между притягивающими телами на одной с ними прямой. В координатах Невхила данному движению соответствует положение относительного равновесия тела малой массы, которое в классической задаче трёх тел называется коллинеарной точкой либрации L1. Задача об устойчивости точки либрации L1 рассматривалась во многих работах. Наиболее полно исследована устойчивость L1 в круговой фотогравитационной задаче трёх тел. В частности, в работах [1,2] был выполнен линейный анализ устойчивости L1, а в работе [3] был проведен строгий нелинейный анализ и получены выводы об устойчивости L1 по Ляпунову. В случае эллиптических орбит массивных тел задача об устойчивости L1 значительно менее исследована. Линейный анализ устойчивости этой задачи проводился в [4], а нелинейный анализ был выполнен в работе [5] для одного частного случая, когда массы и интенсивности излучения массивных тел одинаковы.

В данной работе выполнено нелинейное исследование устойчивости L1 в предположении, что эксцентриситет орбит притягивающих и излучающих тел мал, а на массы и интенсивности излучения массивных тел не наложено никаких ограничений. В работе была применена следующая методика исследования устойчивости. Функция Гамильтона уравнений возмущённого движения с помощью метода Депри-Хори была приведена к нормальной форме. Нормализация гамильтониана проводилась в полярных координатах, что позволило существенно упростить процедуру вычисления коэффициентов нормальной формы. На основании анализа коэффициентов нормальной формы были сделаны выводы об устойчивости для большинства начальных условий и о формальной устойчивости. В пространстве параметров задачи были построены области устойчивости и неустойчивости.

Исследование выполнено в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-21-00729).

Литература:

1. Куницын А.Л., Турешбаев А.Т. О коллинеарных точках либрации фотогравитационной задачи трёх тел // Письма в астрономический журнал. 1983. Т. 9, Вып. 7. С. 432–435.
2. Лукьянов Л.Г. Об устойчивости лагранжевых точек в ограниченной фотогравитационной задаче трёх тел // Астрономический журнал. 1986. Т. 63, 6. С. 1222–1229.
3. Bardin B.S., Avdyushkin A. N. On Stability of the Collinear Libration Point L1 in the Planar Restricted Circular Photogravitational Three-Body Problem // Rus. J. Nonlin. Dyn., 2022, vol. 18, no. 4, pp. 543–562.
4. Тхай В.Н., Зимовщиков А.С. Диаграммы устойчивости для гетерогенного ансамбля частиц в коллинеарных точках либрации фотогравитационной задачи трех тел // Прикладная математика и механика. 2010. Т. 74, Вып. 2. С. 221–229.
5. Bardin B.S., Avdyushkin A.N. Stability of the collinear point L1 in the planar restricted photogravitational three-body problem in the case of equal masses of primaries // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020. Vol. 927.

## **Численное моделирование устойчивости при осевом сжатии вафельных цилиндрических обечаек из алюминиевых сплавов и сравнение с экспериментом**

Анисимов С.А.

АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара, Россия

Сложившаяся практика проектирования ракет-носителей накладывает особую ответственность за массовое совершенство каркасных и топливных отсеков. Большая часть их массы приходится на обечайки цилиндрической и конической формы. Для несущих отсеков, в особенности топливных баков, наиболее совершенной является конструкция обечайки с вафельным фоном подкрепления. Основным фактором разрушения данных обечаек при осевом сжатии является потеря устойчивости, поэтому на этапе проектирования изделия необходимо достоверно определить критическое значение осевой сжимающей нагрузки.

В данной работе описывается вычислительная модель, основанная на методе численного интегрирования [1] и предназначенная для решения в линейной эйлеровой постановке задач устойчивости сжимаемых в осевом направлении вафельных цилиндрических обечаек. С принятием гипотезы «размазывания» указанные обечайки рассматриваются по схеме конструктивно-ортотропных оболочек, подчиняющихся гипотезам Кирхгофа-Лява. С использованием этой модели проводятся расчёты на устойчивость при осевом сжатии вафельных обечаек, изготовленных из алюминиевых сплавов.

Полученное расчётом значение нагрузки при осевом сжатии цилиндрической обечайки оказывается выше величины, фиксируемой в эксперименте [2]. Данная разница, как правило, связана с наличием отклонений геометрических характеристик реально изготовленной обечайки от идеальной формы. Чтобы учесть при проектировании цилиндрической обечайки, эксплуатируемой в условиях осевого сжатия, влияние отмеченного типа несовершенств, вводят так называемый «коэффициент понижения». В этой связи, встаёт вопрос об оценке (с экспериментальным подтверждением) значений данного коэффициента, применительно к проблеме устойчивости рассматриваемых вафельных обечаек. Путём сопоставления результатов расчётов с имеющимися экспериментальными данными по критическим значениям нагрузок, прошедших испытания на осевое сжатие, предлагается значение «коэффициента понижения», необходимого при оценке нижних значений критических нагрузок для данного типа обечаек по данной вычислительной модели.

Литература:

1. Статика и динамика тонкостенных оболочечных конструкций / А.В. Кармишин, В.А. Лясковец, В.И. Мяченков, А.Н. Фролов. – М.: Машиностроение, 1975. – 376 с.

2. Сухинин С.Н. Прикладные задачи устойчивости многослойных композитных оболочек. М.: Физматлит. – 2010. – 248 с.

## **Разработка нового интерфейса программы расчёта проектных параметров артериальных тепловых труб**

<sup>1</sup>Антонов В.А., <sup>2</sup>Панин Ю.В., <sup>2</sup>Кадеев Д.М.

<sup>1</sup>МАИ, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>АО «НПО Лавочкина», г. Химки, Россия

Артериальные тепловые трубы нашли широкое применение в космической технике для обеспечения заданного теплового режима автоматических станций. Артериальная тепловая труба (АртТТ) представляет собой теплопередающее устройство, используемое в составе системы терморегулирования и термостатирования современного космического аппарата. Важным преимуществом тепловых труб (в том числе и артериальных) является то, что для своей работы они не требуют энергоёмких побудителей расхода рабочего тела, что позволяет снизить требования в энергетической вооружённости КА.

Расчёт характеристик артериальной тепловой трубы является важной технической задачей при их проектировании. Основными тепловыми характеристиками артериальных тепловых труб, являются предельный передаваемый тепловой поток и термическое сопротивление. Для проектного расчёта тепловых труб в АО «НПО Лавочкина» используется программный

комплекс ArTT\_DOS, который с удовлетворительной точностью вычисляет основные характеристики артериальных тепловых труб.

К сожалению, к настоящему моменту, программный комплекс уже не удовлетворяет современным требованиям работы с прикладными программами. Программа ArTT\_DOS реализована много лет назад на операционной системе DOS. По понятным причинам взаимодействие с программой в настоящее время представляется проблематичным. Это связано с тем, что имеющийся интерфейс ОС DOS не удовлетворяет современным требованиям работы с вычислительной техникой.

В данной статье рассмотрен новый интерфейс для программы. Разработанный интерфейс написан на языке программирования Python и позволяет пользователям комфортно работать, с программным комплексом ArTT\_DOS на современной вычислительной технике.

Разработанный интерфейс взаимодействует с одной стороны с операционной системой DOS, которая эмулируется в среде Windows 10 и с другой стороны - с программным комплексом ArTT\_DOS. Результаты расчета трансформируются в приложение Excel Microsoft Office, где пользователь может комфортно анализировать данные проектных параметров ArTT.

Разработанный интерфейс был протестирован на расчетной модели ArTT и была подтверждена работоспособность созданного интерфейса в эмулируемой среде DOS для платформы Windows 10.

### **Оценка переходных процессов между этапами проекта с использованием событийного моделирования**

Артамонов И.М.

МАИ, г. Москва, Россия

В традиционном управлении проектами ключевое место занимает совместная оценка изменения временных, финансовых и иных ресурсов. При этом предполагается, что большинство изменений носят постепенный характер. В случае заметных изменений в проекте традиционные модели приводят к получению неадекватных оценок и деградации качества результатов проекта.

Практика показывает, что одним из наиболее сложных и критичных для успеха проекта элементов является переход между смежными этапами. Именно на этой фазе возникают “зависшие” с предыдущего этапа работы, некорректно описанные требования и иные входы следующего этапа. Это снижает как эффективность использования ресурсов, так и итоговое качество результата проекта.

Большинство существующих методов предполагает моделирования последовательности задач на основе вероятностного распределения потребляемых ресурсов (метод Монте-Карло, стохастические сети Петри). Это приводит к сглаженной картине процесса выполнения проекта, не отражающей характерного для реальных проектов отсутствия достаточной информации о последующих этапах. Иначе говоря, эти методы не учитывают риск недостаточной детальности требований.

В работе предлагается повысить точность оценки за счет моделирования границ этапов, а именно задач, отстоящих от него на дистанции не более “1”. Эти задачи включают смежные (финальные для предыдущего этапа и начальные для следующего) и непосредственно связанные с ними. При этом отклонения по длительности выполнения и потребляемым ресурсам устанавливаются в заведомо большем, чем это обычно делается, коридоре. Превышение / уменьшение длительности и потребления ресурсов устанавливается в диапазоне от 30% до 100% в сторону увеличения и в диапазоне 20%-50% в сторону уменьшения. Качество моделирования различных сценариев также достигается за счёт применения модели с множественными путями между задачами.

Для оценки применимости данного подхода была использована комбинация архитектуры взаимодействующих агентов и структурной матрицы проекта [1]. Базовой моделью была модель согласования, основанная на целях (OBNM) [2]. Для моделирования использовалось программное обеспечение Cambridge Advanced Modeller [3]. В качестве тестовой модели рассматривался реализованный проект внедрения автоматизированной системы. Анализ

полученных результатов показал, что модель достаточно адекватно выявила проблемы, возникавшие в ходе выполнения данного проекта.

К достоинствам данного метода можно отнести достаточно простую реализацию, возможность анализа широкого спектра сценариев развития проекта, совмещение количественной и качественной оценок в одной модели, возможность оценивать сразу несколько вариантов решения с точки зрения достижения поставленных целей. Недостатком является необходимость иметь корректное описание большинства основных работ начала следующего этапа, что может привести к росту нагрузки на руководителя и команду управления проектом.

Литература:

1. Wynn D.C., Clarkson P.J. Process models in design and development. Research in Engineering Design, 2018. Springer London 29: 161–202.
2. Danesh M.R, Jin Y. An agent-based decision network for concurrent engineering design. 2001, Concurr Eng 9(1):37–47
3. Wynn D.C., Caldwell N.H., Clarkson P.J. (2014) Predicting change propagation in complex design workflows. J Mech Des 136(8):081009, 13

### **Устойчивость движения гантели в обобщённой круговой задаче Ситникова**

Байков А.Е., Исмаилов А.Р.

МАИ, г. Москва, Россия

В обобщённой ограниченной задаче трёх тел исследуется движение пассивно гравитирующего твёрдого тела в поле притяжения двух основных тел. Если центр масс пассивно гравитирующего твёрдого тела движется вдоль нормали к плоскости орбиты основных тел, то рассматривается обобщённая задача Ситникова. Она разрешима при некоторой симметрии твёрдого тела: например, в [1] было рассмотрено движение однородного стержня в поле притяжения двух основных тел одинаковой массы, движущихся по круговой орбите. Обнаружен новый класс движения, соответствующий обобщённой задаче Ситникова: центр масс перемещается вдоль нормали к плоскости орбиты основных тел, сам стержень вращается вокруг этой нормали, образуя с ней постоянный прямой угол (инвариантное многообразие «гравитационный пропеллер»). В настоящей работе получено инвариантное многообразие «гравитационный пропеллер» для симметричной гантели в круговой обобщённой задаче Ситникова. Исследованы движения гантели, принадлежащие этому многообразию, а также устойчивость положения относительного равновесия в рамках обобщённой ограниченной задачи трёх тел.

Симметричная гантель (гравитационный диполь), представляющая собой соединённые безмассовым стержнем две материальные точки одной массы, находится в гравитационном поле, созданном двумя одинаковыми по массе основными точечными телами, которые вращаются по круговой орбите вокруг общего центра масс. Получены уравнения движения гантели в форме Лагранжа. Найден класс движений «гравитационный пропеллер»; уравнения Лагранжа, описывающие движения гантели, принадлежащие этому классу, приведены к безразмерному виду, что содержит единственный параметр  $s$  — отношение длины гантели к диаметру орбиты основных тел. Исследована предельная система, когда параметр  $s$  стремится к нулю, а также влияние первых членов возмущённых уравнений. Также исследована интегрируемость эквивалентных гамильтоновых уравнений, описана топология фазовых кривых. В частности, инвариантное многообразие «гравитационный пропеллер» имеет единственное устойчивое положение относительного равновесия, когда гантель направлена вдоль прямой, соединяющей основные тела в плоскости орбиты. Исследована устойчивость этого положения равновесия в рамках обобщённой ограниченной задачи трёх тел, как в линейном приближении, так и в строгой нелинейной постановке.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 22-21-00560).

Литература:

1. Красильников П.С. О многообразии "гравитационный пропеллер" в обобщенной круговой задаче Ситникова // ПММ. 2021. Т. 85. Вып. 5. С. 576–586.

## Об алгоритме нормализации гамильтоновой системы в полярных координатах

Бардин Б.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается периодическая по времени гамильтонова система с двумя степенями свободы. Предполагается, что функция Гамильтона данной системы аналитична в окрестности начала координат по всем переменным. Предполагается также, что функция Гамильтона аналитически зависит от малого параметра, а при его нулевом значении система становится автономной. При помощи канонической, периодической по времени, аналитической замены переменных данную систему можно привести к нормальной форме. Такую каноническую замену переменных можно построить аналитически при помощи метода Депри-Хори [1,2]. Применение указанного метода часто приводит к громоздким преобразованиям, поэтому актуальной является задача разработки эффективных алгоритмов нормализации.

В данной работе описан алгоритм построения нормальной формы функции Гамильтона, основанный на введении канонических полярных координат и последующем применении метода Депри-Хори. Показано, что процедуру нормализации можно свести к последовательному решению достаточно простых линейных дифференциальных уравнений в частных производных. Применение данного алгоритма позволяет существенно упростить вычисление коэффициентов нормальной формы функции Гамильтона. Указанный алгоритм успешно применялся для нормализации периодической гамильтоновой системы с одной степенью свободы [3-6]. В данной работе приводятся явные выражения для вычисления коэффициентов нормальной формы функции Гамильтона системы с двумя степенями свободы.

Рассмотрены приложения описанного алгоритма в задаче об орбитальной устойчивости маятниковых колебаний симметричного твердого тела и в задаче об устойчивости коллинеарной точки либрации L1 в фотогравитационной задаче трех тел [7].

Исследование выполнено в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) за счет гранта Российского научного фонда (проекта № 19-11-00116).

Литература:

1. Giacaglia G. E. O. *Perturbation methods in non-linear systems*. Springer New York, NY, 1972. P. 369.
2. Маркеев А.П. *Точки либрации в небесной механике и космодинамике*. М.: Наука, 1978. С. 312.
3. Bardin, B.S., Chekina, E.A. Chekin A.M. On the orbital stability of pendulum oscillations of a dynamically symmetric satellite – *Rus. J. Nonlin. Dyn.*, 2022, vol. 18, no. 4, pp. 589–607.
4. Bardin B.S., On a Method of Introducing Local Coordinates in the Problem of the Orbital Stability of Planar Periodic Motions of a Rigid Body. – *Rus. J. Nonlin. Dyn.*, 2020, vol. 16, no. 4, pp. 581–594.
5. Бардин Б.С., Максимов Б.А. Об орбитальной устойчивости маятниковых периодических движений тяжелого твердого тела с одной неподвижной точкой, главные моменты инерции которого находятся в отношении 1:4:1 – *ПММ*, 2023, Т. 87, № 5, С. 784–800.
6. Bardin, B.S., Maksimov, B. A. The orbital stability analysis of pendulum oscillations of a heavy rigid body with a fixed point under the Goriachev-Chaplygin condition – *Journal of Mathematical Sciences*, Vol. 275, No. 1, September, 2023. pp. 66–77.
7. Bardin, B.S., Avdyushkin, A. N. On Stability of the Collinear Libration Point L1 in the Planar Restricted Circular Photogravitational Three-Body Problem – *Rus. J. Nonlin. Dyn.*, 2022, vol. 18, no. 4, pp. 543–562.

## **Стабилизация положения твёрдого тела с помощью вибраций точки подвеса вдоль эллипса**

Беличенко М.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В работе рассматривается движение твёрдого тела с вибрирующей точкой подвеса. Рассмотрен случай тела с центром масс на главной оси инерции. Точка подвеса тела совершает высокочастотные вибрации малой амплитуды.

Ранее было показано, что для тела с вибрирующей точкой подвеса могут быть получены приближенные автономные уравнения движения, где влияние вибраций представляется в виде наложения дополнительного вибрационного потенциального поля. Были проведены множественные исследования существования и устойчивости различных движений для различных случаев вибраций. Было выявлено, что вибрации приводят к двум важным эффектам. Во-первых, центр масс тела стремится к главному направлению вибраций. Во-вторых, главная ось инерции тела с большим моментом инерции стремится занять положение оси, вокруг которой происходят микровращения вследствие вибраций. Ранее были получены параметры вибраций, необходимые для стабилизации положения тела, при котором центр масс тела занимает произвольное положение, а главная ось инерции с наибольшим моментом инерции перпендикулярна вертикальной плоскости, содержащей центр масс. Для этого достаточно ввести вибрации точки подвеса вдоль наклонной прямой.

В данной работе построен закон вибраций, также стабилизирующий произвольное положение центра масс тела, однако главная ось инерции, занимающая горизонтальное положение, отвечает наименьшему моменту инерции. Получено, что для этого следует ввести вибрации вдоль наклонного эллипса, наибольшая из осей которого лежит в вертикальной плоскости, содержащей центр масс, а наименьшая ось эллипса горизонтальна.

Исследование выполнено в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-11-00116).

## **К построению цифровых двойников (ЦД) подшипников и их вибродиагностике на основе ЦД**

Бодаков М.А., Дворак А.В., Варюхин А.Н., Гелиев А.В., Кирпичёв А.И.

ЦИАМ, г. Москва, Россия

Являясь одной из наиболее распространенных деталей в машинах различного рода, также определяющих ресурс, подшипниковые узлы подвержены вибрациям, которые возрастают при их износе, появлении дефектов на дорожках и телах качения в процессе эксплуатации. Анализ влияния тех или иных дефектов на вибрации подшипников и построение на их основе методов диагностики их технического состояния посвящено множество отечественных и зарубежных работ.

В докладе излагается подход к построению математической модели (ММ) подшипника, построенной на основе конечно-элементного метода для расчета его динамики и соответствующей нейросетевой модели.

Построенная модель позволяет учитывать влияние на вибрации подшипника таких параметров, как угол поворота сепаратора, фактический радиальный зазор, нагружение и локальное снижение жесткости внутреннего кольца вследствие возникновения подповерхностного дефекта в виде трещины.

Приведены результаты обработки и анализа серии экспериментальных данных, записанных с вибропреобразователей на различных режимах работы разгонной машины (электродвигателя) для механической части (МЧ), состоящей из вала и блока подшипников, в бездефектном и изношенном состояниях подшипника. Разрабатываемое с этой целью программное обеспечение (ПО) реализует основные методы и алгоритмы комплексного анализа вибросигналов для диагностики состояния подшипников.

Приведенные ММ и методика обработки экспериментальных данных могут быть использованы при построении ЦД механических частей различных вращающихся

механизмов, что позволит контролировать их текущее состояние и диагностировать возникновение дефектов на ранней стадии с определением типа дефекта.

### **Диагностика гибридного двигателя легкого летательного аппарата с применением цифрового двойника**

Борисов Д.А., Сычѳв А.В., Жуков А.А.  
МАИ, г. Москва, Россия

Авиационная индустрия стремится к снижению экологического воздействия и повышению эффективности полетов. Для этого активно исследуются и внедряются гибридные двигатели самолетов, состоящие из электродвигателя и двигателя внутреннего сгорания. Диагностика гибридных двигателей требует сложных систем управления и алгоритмов, что реализуемо с применением цифрового двойника [1], позволяющим повысить эффективность и управляемость на всех этапах жизненного цикла, что и определяет актуальность работы.

Цель работы: создание цифрового двойника для диагностики гибридного двигателя легкого летательного аппарата при его испытаниях и эксплуатации.

Цифровой двойник гибридного двигателя представляет собой высокоуровневую модель двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя, электроники управления, системы охлаждения. Цифровой двойник создается на земле, проводятся тестирования составных частей с применением датчиков и осуществляют верификацию и валидацию цифрового двойника в полете. Данные для цифрового двойника постоянно обновляются в реальном времени на основе информации от датчиков и систем летательного аппарата. Последовательность действий при диагностике гибридного двигателя с применением цифрового двойника следующая.

- Сбор и хранение данных. Датчики, установленные на гибридном двигателе, непрерывно собирают информацию о температуре, давлении, скорости вращения, энергопотреблении и других параметрах работы двигателей.

- Создание цифрового двойника. Полученные данные передаются в цифровой двойник, который создает виртуальную копию двигателя. Этот цифровой двойник отражает реальное состояние двигателя в реальном времени и может воспроизводить его.

- Анализ и диагностика. Цифровой двойник использует алгоритмы машинного обучения и искусственного интеллекта для анализа данных и выявления аномалий. Он сравнивает текущее состояние с ожидаемым, определяет потенциальные проблемы и рассчитывает оставшееся время работы двигателя до необходимости обслуживания.

- Предупреждения и рекомендации. Если цифровой двойник обнаруживает неисправности или аномалии, он генерирует предупреждения и предлагает рекомендации для пилота и обслуживающего персонала.

Таким образом применение цифрового двойника при диагностике гибридных двигателей способствует повышению надежности, безопасности и экономической эффективности летательных аппаратов и позволит существенно снизить риски и затраты на техническое обслуживание, что делает полеты на гибридных летательных аппаратах более доступными.

Литература:

1. ГОСТ Р 57700.37–2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2021-16-09 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. официальное. – М.: Российский институт стандартизации, 2021. – 10 с.

### **Программа обработки видеоматериала по поиску, локализации и статистическому анализу электростатических разрядов на поверхности космического аппарата**

Валиуллин В.В., Стручалин Д.В., Иванов Н.С., Надирадзе А.Б.  
МАИ, г. Москва, Россия

На околоземной орбите космический аппарат (КА) подвергается электризации внешних поверхностей потоками магнитосферной плазмы. Электризация приводит к дифференциальной зарядке разнородных по электрофизическим свойствам элементов конструкции КА. Данный эффект является причиной возникновения электростатических

разрядов (ЭСР). ЭСР также называют первичным разрядом, который может при определенных условиях инициировать возникновение различных по продолжительности и устойчивости вторичных дуговых разрядов. Наиболее опасным для работы КА являются вторичные дуговые разряды, возникающие на электродах электрической цепи панели солнечной батареи (БС). Эти разряды могут приводить к неисправностям БС, что подтверждается статистикой отказов КА [1]. Поэтому необходимо производить испытания КА на воздействие магнитосферной плазмы, фиксировать частоту появления первичных ЭСР и анализировать вероятность возникновения вторичных дуговых разрядов.

Излучение разрядов на поверхности образца конструкции КА записывается видеокамерой с частотой записи от 10 до 50 кадров в секунду, что позволяет фиксировать разряды с длительностью 20-100 мс и более. Для оценки вероятности возникновения вторичных дуговых разрядов необходима обработка собранного видеоматериала и статистический анализ характеристик разрядов [2]. Поэтому для данной задачи был разработан алгоритм поиска разрядов на кадрах видеоматериала и написана программа по установлению характерных мест локализации и частоты разрядов на поверхности испытуемых образцов конструкции КА. Видеофиксация разрядов на исследуемом образце происходит в неблагоприятных для цифровой видеоаппаратуры условиях лабораторного стенда. Ввиду чего на обрабатываемых записях присутствуют шумы сходные с частью разрядов по параметрам размера и интенсивности излучения. Данная программа позволяет подавлять шумы, выявляя среди них самые малые наблюдаемые разряды, определять интенсивность излучения и площадь разрядов, сохранять кадры с разрядами и производить первичную сортировку по интенсивности излучения. Возможна дальнейшая обработка и определение частотности различных по интенсивности излучения разрядов. Локализация мест и частоты разрядов позволяет выявлять наиболее критичные зоны на поверхности образца конструкции КА и вносить рекомендации по стойкости бортовой аппаратуры к воздействию электризации на стадии разработки аппарата.

1. Cho M., Kitamura T., Ose T., Masui H., Toyoda K. Statistical Number of Primary Discharges Required for Solar Array Secondary-Arc Tests // Journal of Spacecraft and Rockets. 2009. V. 46. N 2. P 438-448. DOI: 10.2514/1.37798

2. Крымов Виталий Анатольевич, Рудновская Софья Владимировна, Теплова Наталья Витальевна Обнаружение всплеск в сигнале интенсивности свечения водородной линии по данным с токамака ГЛОБУС-М2 // САО. 2020. №3.

### **О перемещении вдоль леерной связи космического аппарата с неидеальным солнечным парусом**

Васькова В.С., Родников А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время существуют десятки работ, описывающих различные аспекты динамики космических тросовых систем (см., например, [1,2,3]). При этом практически никогда тросовое соединение не рассматривается как своеобразный монорельс, вдоль которого можно перемещать грузы. В настоящей работе изучается движение космического аппарата (КА), оснащенного солнечным парусом (СП), частично поглощающим солнечную радиацию, вдоль троса, соединяющего две массивные космические станции, описывающие одну гелиоцентрическую орбиту. Трос, длина которого превосходит расстояние между станциями, считается невесомым и нерастяжимым, то есть реализующим ограничение, называемое леерной связью [5,6]. При этом считается, что КА не покидает плоскости орбиты станций, а трос натянут во все время движения. Считается, что ускорение КА относительно станций создается только СП, то есть не требует затрат топлива. В этом случае относительная скорость КА невелика, благодаря чему натяжение троса незначительно, что оправдывает сделанные предположения о его свойствах и позволяет считать влияние КА на движение станций несущественным. Тем не менее, оказывается, что в ряде случаев продолжительность перемещения КА оказывается вполне приемлемой, что подтверждает возможность использования СП не только для межпланетных перелетов [2,4], но и для перемещений в пределах одной протяженной искусственной космической конструкции.

Неидеальность оптических характеристик отражающей поверхности СП вносит свои коррективы в динамику КА по сравнению с идеальной ситуацией, ранее рассмотренной в [5,6]. Уравнения движения в этом случае содержат коэффициент отражения материала паруса в качестве параметра и могут быть записаны как обобщение уравнений из [5]. В работе определяется направление нормали к парусу в зависимости от коэффициента отражения и положения КА на границе лазерной связи таким образом, чтобы обеспечить наискорейшее перемещение между станциями с учётом того, что начальная и конечная скорости должны быть равны нулю. Вычисляется продолжительность такого перемещения.

[1]. Белецкий В. В., Левин Е. М. Динамика космических. тросовых систем, Изд-во М.: Наука, 1990, 329 с.

[2]. Белецкий В.В. Очерки о движении космических тел. Москва, Изд-во УРСС, 2017, 432 с.

[3]. Белецкий В.В., Новикова Е.Т. Об относительном движении связки двух тел на орбите. Космические исследования, 1969, т. 7, № 3, с. 377–384.

[4]. Поляхова Е.Н. Космический полет с солнечным парусом. Москва, Изд-во УРСС, 2010, 302 с.

[5]. Vaskova V. S., Rodnikov A. V. On a Sailed Spacecraft Motion along a Handrail Fixed to Two Heliocentric Space Stations. Russian Journal of Nonlinear Dynamics, 2023, Vol. 19, no. 3, pp. 359-370.

[6]. Васьюкова В.С., Родников А.В. О движении космического аппарата с солнечным парусом вдоль троса, закрепленного на двух гелиоцентрических космических станциях. 21-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 21-25 ноября 2022 года. Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2022– 8,06 Мб [Электронное издание], с. 383-384.

#### **Нелинейный анализ орбитальной устойчивости периодических движений в окрестности положения относительного равновесия плоской круговой ограниченной задачи четырех тел**

Волков Е.В., Бардин Б.С., Сухов Е.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается плоская ограниченная круговая задача четырех тел, т.е. исследуется движение тела пренебрежимо малой массы в гравитационном поле трёх массивных тел, которые движутся по круговым орбитам вокруг барицентра системы образуя лагранжеву конфигурацию. Тело малой массы все время находится в плоскости движения массивных тел. Предполагается, что два из трех массивных тела имеют равные массы. Во вращающейся вместе с лагранжевой конфигурацией системе координат возможны положения относительного равновесия тела малой массы, которые соответствуют постоянным (неизменным) конфигурациям системы, при которых четыре тела движутся, образуя четырехугольник неизменной формы и размеров. В этом случае результирующая сила гравитационного притяжения, действующая на тела, направлена к центру масс системы. Данный тип движения называется центральной конфигурацией. Анализ устойчивости по Ляпунову указанных центральных конфигураций выполнен в работах [1, 2]. В работе [3] при помощи метода нормальных форм аналитически и численно были построены семейства периодических движений тела малой массы, рождающиеся из устойчивых точек либрации, а также в линейном приближении была исследована орбитальная устойчивость этих периодических движений.

В данной работе выполнено нелинейное исследование орбитальной устойчивости семейств указанных периодических движений для всех возможных значений параметров задачи. Исследование выполнялось по следующей методике. В окрестности периодической орбиты были введены локальные канонические переменные, и получено разложение функции Гамильтона уравнений возмущенного движения в ряд по этим новым переменным. Затем была выполнена изоэнергетическая редукция и получены уравнения движения на нулевом уровне энергии, отвечающем невозмущенной периодической орбите. Это позволило свести задачу об орбитальной устойчивости к задаче об устойчивости по Ляпунову положения равновесия редуцированной системы. Выводы об устойчивости последнего были

получены на основе анализа устойчивости неподвижной точки симплектического отображения, генерируемого редуцированной системой. Результаты исследования представлены в виде диаграмм устойчивости, которые построены 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. Bardin B.S., Esipov P.A. Investigation of Lyapunov stability of a central configuration in the restricted four-body problem. AIP Conference Proceedings 1959, 2018.

2. 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.

3. Sukhov E.A., Volkov E.V. Numerical Orbital Stability Analysis of Nonresonant Periodic Motions in the Planar Restricted Four-Body Problem. Russian Journal of Nonlinear Dynamics. 2023. Vol. 19. no. 3.

### **Построение математической модели для определения дисбаланса несущих винтов вертолёта и её 3D визуализации**

Данильченко С.А., Дворак А.В., Земсков А.А.  
ЦИАМ, г. Москва, Россия

К одной из основных целевых задач систем диагностики вертолетов относится контроль сбалансированности винтов вертолета, так как именно винты являются основным источником вибраций вертолета и его агрегатов, приводящих к возникновению усталостных разрушений, уменьшению эксплуатационной надежности авиационного оборудования и уровня комфорта в кабине экипажа.

Развитию и совершенствованию методов балансировки несущих винтов вертолётов посвящено множество работ. Данная работа является развитием метода многоплоскостной балансировки в применении к системе из двух несущих винтов (вертолета соосной схемы). Особенность выбранного подхода состоит в определении величины дисбаланса для каждого из винтов системы в отдельности, путем построения методом линейной регрессии матрицы коэффициентов влияния экспериментально регистрируемых параметров вибрации на величину дисбаланса каждого из винтов.

На основе полученных данных о вибрации разработанный подход позволяет рассчитать не только дисбаланс несущих винтов, но и положение и динамику центра масс системы, вызванную работой разбалансированных несущих винтов. Подход может быть использован для разработки и актуализации цифровых вибродвойников несущих винтов вертолетов.

### **Синтез помехоподавляющих фильтров для силовой шины электропитания космического аппарата с применением технологии машинного обучения**

Жечев Е.С., Сурков В.А.  
ТУСУР, г. Томск, Россия

Рассматривается метод синтеза геометрических и электрофизических параметров помехоподавляющих фильтров для силовой шины электропитания (СШЭП) космического аппарата (КА).

Непрерывный рост производительности электронных устройств КА, увеличение плотности их монтажа и уменьшение уровней питающих напряжений приводит к увеличению их восприимчивости к электромагнитным помехам (ЭМП). Для уменьшения влияния ЭМП на функциональность электронных устройств КА применяют помехоподавляющие фильтры, которые часто подключают непосредственно к СШЭП [1, 2]. Скорость моделирования, а следовательно, и проектирования, является важным фактором, влияющим на стоимость проекта. Применение технологии машинного обучения (МО) позволяет значительно сократить время проектирования за счет предобучения моделей.

В докладе предлагается использовать технологию контролируемого МО для синтеза модальных фильтров [3], входящих в состав помехоподавляющих фильтров и подключаемых непосредственно к СШЭП КА. Авторами показаны основные требования к проектным параметрам фильтров, в том числе требуемые модальные параметры. С помощью квазистатического моделирования выполнено обучение модели МО для прототипа модального фильтра. Для верификации результатов выполнены полномасштабное моделирование и сравнительный анализ, показавший высокий уровень сходимости. Таким образом, впервые продемонстрировано применение МО для синтеза помехоподавляющих фильтров для СШЭП КА.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2022-0001.

Литература:

1. Madhusudan Y.L., Nagendra H.R., Nanjundaswamy T.S. Design techniques and methodologies for effective electromagnetic cleanliness in spacecraft power system //9th International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility. – IEEE, 2006. – С. 258-269.

2. В.П. Костелецкий, Е.Б. Черникова, Е.С. Жечев, А.М. Заболоцкий. Разработка устройства защиты от сверхкоротких импульсов для цепей электропитания бортовой радиоэлектронной аппаратуры // Журнал радиоэлектроники. – 2022.

3. Development of modal filter prototype for spacecraft busbar protection against ultrashort pulses / R.R. Khazhibekov, A.M. Zabolotsky, Y.S. Zhechev [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Novosibirsk, 2018 – Novosibirsk: Institute of Physics Publishing, 2019. Vol. 560 Pp. 012145.

### **Пользовательская модель статической прочности в плоскости слоя для анализа напряженно-деформированного состояния изделий из волокнистых полимерных композиционных материалов вплоть до разрушения в программе конечно-элементного анализа LS-Dyna**

Зайнуллина Д.М., Ожгибесова Д.Д., Асанидзе С.Э., Боровков А.И.  
СПбПУ, г. Санкт-Петербург, Россия

Численное моделирование свойств волокнистых полимерных композиционных материалов (ВПКМ) не дает однозначные результаты из-за сложности описания поведения слоистого материала со сложной схемой армирования ввиду ярко выраженной анизотропии, большим разбросом свойств и специфическим поведением – псевдопластичностью, которое появляется при наличии сдвига в плоскости слоя. В современных коммерческих программах конечно-элементного анализа отсутствуют модели материалов (ММ), позволяющие учитывать такое сложное поведение ВПКМ в полной мере.

Цель работы: для моделирования поведения ВПКМ по результатам экспериментов, разработать цифровую пользовательскую ММ статической прочности в плоскости слоя, позволяющую оценивать напряженно-деформированное состояния в элементах конструкции вплоть до разрушения.

Задачи: изучить подходы к моделированию статической прочности ВПКМ, используя открытые экспериментальные данные; разработать пользовательскую модель для конечно-элементного пакета LS-DYNA по экспериментальным данным и выведенным зависимостям свойств конкретного углепластика; провести верификацию и валидацию через разработку виртуального испытательного стенда (ВИС) согласно ГОСТ Р 57700.37–2021 [1].

По результатам экспериментов определены следующие требования к ММ, которым не соответствуют известные ММ ортотропного тела в LS-DYNA: модель статической прочности в плоскости слоя должна позволять учитывать разное поведение на растяжение и сжатие при статическом разрушении, описывать нелинейное поведение материала с возможностью задавать точную деградацию упругих и прочностных свойств при наличии сдвиговой деформации, а также реализовывать комплексное накопление повреждений.

ММ реализована на языке Fortran и интегрирована в выбранное программное обеспечение. Для верификации и валидации разработан ВИС 1 «Статические свойства», который входит в

состав виртуального испытательного полигона для новых цифровых моделей композиционных материалов и технологических процессов. ВИС 1 состоит из двух основных контуров: первый контур необходим для процедуры верификации, второй контур - отвечает за валидацию. Успешное прохождение двух контуров подтверждает высокую степень адекватности разработанной ММ.

Полученные результаты верифицированной и валидированной модели статической прочности в плоскости слоя позволяют использовать ее в расчетах изделия по технологии цифровых двойников и решать задачи проектирования послойной структуры материала в изделии. Дальнейшее исследование направлено на включение влияния натяга и задачи синтеза с другими, более сложными моделями, например, с моделью усталости, ползучести, моделями для учета влияния внешних сред. Также развивается подход синтеза с моделью полимеризации для учета влияния технологического процесса на свойства материала.

Литература:

1. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. – Введ. 01.01.2022. – М.: ФГБУ «РСТ», 2021. – 10 с.

### **Мультиагентный алгоритм поиска оптимального управления на основе радиально-базисных функций**

Каранэ М.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Задача поиска оптимального управления является актуальной и востребованной во многих прикладных областях: авиационной и ракетно-космической промышленности для управления движущимися объектами (при спуске и посадке, совершении маневров и других процессах), а также в других отраслях для управления технологическими процессами, химическими реакциями и т.д.

В работе исследуются нелинейные детерминированные динамические системы управления, описываемые обыкновенными дифференциальными уравнениями, в которых управление линейно и ограничено. Рассматривается случай программного управления, т.е. закон управления зависит только от времени и не зависит от координат вектора состояния. Требуется найти оптимальную траекторию и оптимальное управление, на которых достигается минимум функционала.

Поиск оптимального управления предлагается осуществлять с использованием параметризации закона управления и мультиагентных алгоритмов. Управление ищется в параметрическом виде с помощью разложения по системе базисных функций, коэффициенты которого неизвестны и их требуется найти. Тем самым задача поиска минимума функционала сводится к поиску оптимальных коэффициентов, определяющих структуру управления, а именно к задаче конечномерной оптимизации.

В работе используются радиально-базисные функции: функция Гаусса, мульти-квадратичная функция, обратная квадратичная функция и обратная мульти-квадратичная функция, а в качестве метода оптимизации применяется гибридный мультиагентный алгоритм интерполяционного поиска. На основе этого организована процедура поиска оптимального управления и написан пошаговый алгоритм.

На базе предложенного подхода сформировано программное обеспечение, позволяющее находить оптимальное программное управление для описанного класса задач. С помощью программного обеспечения была исследована эффективность описанного алгоритма при решении трех модельных примеров. Проведен сравнительный анализ влияния выбора радиально-базисных функций на точность решаемой задачи. Подобраны параметры мультиагентного алгоритма и найдено наилучшее количество коэффициентов в разложении для управления и значения этих коэффициентов, а также наилучшее значение функционала качества управления. Получены графики траекторий и управления. Применение всех рассмотренных радиально-базисных функций дает результаты, близкие к оптимальным, за приемлемое время.

Таким образом, по полученным численным и графическим результатам сделан вывод о том, что предложенный подход справился с поставленной задачей, и его можно применять

для более сложных задач, например, для поиска оптимального управления с неполной обратной связью и для решения прикладных задач.

### **Моделирование влияния внедрения технологий индивидуального мониторинга состояния воздушных судов на стоимость обеспечения их бесперебойной эксплуатации**

Касаткин А.А.

ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского», г. Жуковский, Россия

Техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) авиационной техники (АТ) неразрывно связано с эксплуатацией АТ, непосредственно определяя возможность безопасного проведения полетов. На сегодняшний день большинство типов воздушных судов (ВС) отечественного производства обслуживается единообразно, для всего типа: разработчиком определяются обязательные к выполнению работы, а также единая периодичность их выполнения. При такой системе технической эксплуатации АТ превышение наработки на соответствующую форму ТОиР недопустимо с точки зрения обеспечения безопасности полетов. Приходится планировать расписание полетов каждого ВС с целью обеспечения своевременного выполнения ТОиР, что влечет за собой снижение готовности парка АТ. Приемлемый ее уровень в периоды выполнения длительных «тяжелых» форм ТОиР обеспечивается в т.ч. за счет запасных ВС (собственных или предоставляемых централизованно), количество которых оптимизируется.

Разнообразие условий эксплуатации ВС данного образца, и, как следствие, неоднородность темпов накопления повреждений и непредсказуемость моментов достижения каждым экземпляром предотказного состояния – вынуждают производителя назначать ресурс и наработки на каждую форму ТОиР всему парку АТ данного типа, фактически, исходя из наилучших условий эксплуатации. Таким образом обеспечивается недостижение предотказного состояния даже для ВС, эксплуатирующихся в самых неблагоприятных условиях. Однако такой «перестраховочный» подход к технической эксплуатации АТ приводит к раннему (в сравнении с реально необходимым для обеспечения безопасности полетов) выполнению ТОиР авиакомпаниями, эксплуатирующими свой парк ВС в регионах с благоприятными условиями эксплуатации, к раннему списанию ВС по календарному сроку службы или налету (в часах или полетных циклах), а не по исчерпанию фактической долговечности конкретных узлов и агрегатов.

Внедрение технологий индивидуального мониторинга состояния ВС позволит эксплуатантам отслеживать накопление повреждений и/или выработки ресурса каждого отдельного ВС, что приведет к увеличению безопасной наработки на соответствующие формы ТОиР и на списание для ВС, эксплуатирующихся в относительно благоприятных условиях.

В данной работе проведено моделирование внедрения технологий индивидуального мониторинга состояния ВС в парках, эксплуатирующихся в различных регионах. Создан программный комплекс имитационного моделирования эксплуатации парка ВС на реальной маршрутной сети. Рассмотрены различные условия эксплуатации для разных эксплуатантов, приводящие (после внедрения указанных технологий) к различным увеличениям средней наработки на соответствующие формы ТОиР и срока службы до списания. В качестве целевой функции были выбраны полные эксплуатационные расходы, необходимые для выполнения заданных объемов авиаперевозок в выбранных регионах с заданной регулярностью. В рамках данной постановки проведено сравнение стоимостей обеспечения эксплуатации парков ВС при уровне готовности парка не ниже 0.99 до и после внедрения систем индивидуального мониторинга состояния изделий АТ. Показано, что внедрение таких систем даже при отсутствии увеличения средней межремонтной наработки приводит к некоторому снижению затрат на ТОиР, а в случае увеличения межремонтного интервала становится возможным еще большее снижение себестоимости обеспечения бесперебойной эксплуатации парка ВС.

## **Обратный метод имитационного моделирования предприятия аэрокосмической отрасли**

Корж С.Е., Нейперт Т.А.  
МАИ, г. Москва, Россия

Производство летательных аппаратов, будь то авиастроение или ракетостроение, имеет ряд специфических свойств, отличающих данную сферу промышленности от прочих. Предприятия аэрокосмической отрасли организованы по цехам, которые в свою очередь делятся по смыслу проводимых в них производственных процессов. Из-за этого детали и узлы изделия могут многократно отправляться в один и тот же цех на разных этапах своего технологического процесса, что существенно осложняет организацию технологического производства [1].

Одним из современных и эффективных методов организации производства является имитационное моделирование. Создание “виртуального двойника” производства позволяет провести комплекс исследований для выявления наиболее эффективных решений по работе предприятия без вмешательства в текущие “реальные” процессы. Основным критерием данных исследований является достоверность разрабатываемой имитационной модели, которая, в свою очередь, основывается на достаточной степени проработки “виртуальных двойников”. Проработка характерных для аэрокосмической отрасли особенностей движения материалопотока требует особого подхода [2].

В рамках данной работы предлагается применение “обратного имитационного моделирования” для разработки имитационных моделей предприятий аэрокосмической отрасли. Классическое имитационное моделирование заключается в том, что ключевые точки событий протекающих процессов задаются изначально и идут по прямой схеме производства: от поставки полуфабрикатов и комплектующих до готового изделия. Обратный метод заключается в том, что в первой итерации имитационной модели уже заложено готовое изделие с последующей его “разборкой” на узлы и детали. В данном случае процесс моделирования основывается не на сложной схеме производства летательного аппарата, а на известных взаимосвязях структуры предприятия, распределения полученных элементы изделия по цехам. Это позволяет отслеживать возникающие в процессе производства максимальные и минимальные нагрузки на отдельные части предприятия от простой единицы (изделие) до сложного множества (полуфабрикаты и комплектующие).

В качестве примера приводится разработка имитационной модели упрощенного предприятия методом как классического, так и обратного моделирования. В примере рассматривается объем полученных данных при исследовании первой итерации моделей и сравнивается вариативность дальнейшей проработки разработанных моделей с целью получения оптимальной схемы производства изделия.

1. Гусев П. Ю., Скрипченко Ю. С., Лысов Д. В. Анализ и оптимизация производства деталей самолетных агрегатов с применением имитационного моделирования //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18. – №. 4-3. – С. 432-438.

2. Кабанов А. А. Имитационное моделирование в производстве авиационных и ракетно-космических систем. Что предшествует эксперименту //Труды МАИ. – 2013. – №. 65. – С. 27.

## **Алгоритм направленного блуждания на графе с фиксированной длиной маршрута и заданной конечной точкой**

Королёв Е.В.  
МАИ, г. Москва, Россия

Существует множество маршрутных решений от Яндексa, 2GIS, Google и многих других компаний. Однако на текущий момент нет сервиса по генерации маршрутов между двумя точками с фиксированным пользовательским расстоянием. Данный сервис может быть востребован среди туристов, спортсменов и любителей активного отдыха.

Рассмотрим алгоритм интеллектуальной генерации маршрутов. В его основе лежит генерация большого числа маршрутов по разработанному методу НБГ (направленного

блуждания на графе с фиксированной длиной маршрута и заданной целевой вершиной), данный метод вызывается с различными параметрами контура маршрута, при этом поскольку метод имеет стохастическую природу, каждый запуск метода может приводить к генерации уникального маршрута. Среди построенных маршрутов определяются кластеры геометрически похожих маршрутов. В каждом кластере определяются наилучшие маршруты по пользовательским и системным фильтрам. Среди пользовательских фильтров стоит выделить следующие: избегание загрязненных зон, маршрут по достопримечательностям, избегание подъемов и спусков.

В основе метода НБГ лежит построение распределения вероятностей выбора соседней вершины на каждом шаге выбора очередной вершины маршрута. Для нахождения распределения вероятностей вычисляются факторы. Среди всех факторов стоит отметить наиболее важный — фактор направленности. При инициализации алгоритма задается одна из заранее подготовленных функций (контур маршрута) в полярных координатах, рассматриваемая в отрезке от 0 до  $2\pi$ . Данные функции имеют единичную длину на рассматриваемом отрезке. Также в аргументы алгоритма передается угол, на который необходимо повернуть контур маршрута. Коэффициент масштаба для контура вычисляется алгоритмически на основе целевой дистанции, а также минимального расстояния от стартовой точки к целевой. Данный фактор позволяет определять наиболее вероятное направление при выборе очередной вершины, учитывая как контур маршрута, так и остаточную длину маршрута (под остаточной длиной понимается разница между целевым расстоянием и пройденным расстоянием). Чем остаток целевого расстояния ближе к минимальному расстоянию до целевой вершины, тем вектор направления будет более ориентирован в сторону целевой вершины.

Описанный алгоритм был апробирован на картах Москвы и Московской области и продемонстрировал успешные результаты. По итогам нагрузочного тестирования на запрос построения циклических маршрутов с длиной 10 километров уходит в среднем 14 секунд. В данном методе производится большое число простых вычислительных операций, ввиду этого вычисления факторов следует реализовать на графических процессорах, что позволит ускорить работу алгоритма.

В качестве платформы для отображения карт был выбран открытый картографический проект OpenStreetMap. Картографические данные были перенесены в графовую базу данных Neo4j.

Литература:

1. <https://www.ll.mit.edu/r-d/publications/graph-matching-multi-scale-heat-diffusion> - graph matching via multi-scale heat diffusion.
2. <https://cs.stanford.edu/~mpkim/notes/lec6.pdf> - Spectral Graph Theory and Random Walks.
3. Robinson, I., Webber, J., Eifrem, E. (2015). Graph Databases: New Opportunities for Connected Data. O'Reilly Media.

### **Качение шара по поверхности вращения**

<sup>1</sup>Кулешов А.С., <sup>2</sup>Косенко И.И.

<sup>1</sup>МГУ, <sup>2</sup>МАИ, г. Москва, Россия

Одной из классических задач динамики неголономных систем (систем, на движение которых наложены дифференциальные связи) является задача о качении без проскальзывания тяжелого однородного шара по поверхности вращения. Подобные модели могут использоваться в задачах идентификации динамики. Еще из классических работ Э. Дж. Рауса и Ф. Нётера было известно, что удобнее решать эту задачу, задавая в явном виде поверхность, по которой движется центр шара, а не опорную поверхность, по которой катится шар. В докладе показано как, задавая в явном виде поверхность, по которой движется центр шара, привести уравнения движения шара к системе уравнений, записанной в форме Коши, то есть свести задачу описания движения шара к решению задачи Коши. Коэффициенты соответствующих уравнений будут зависеть от формы поверхности, по которой движется центр шара, то есть, её главных кривизн и коэффициентов Ламе. Показано, что в случае движения шара по поверхности вращения такой, что центр шара при

движении принадлежит параболоиду вращения, для почти всех начальных условий шар будет совершать периодическое движение между двумя уровнями на параболоиде, которые также определяются начальными условиями. Таким образом, движение шара будет во многом похоже на его движение внутри прямого кругового цилиндра.

Модель написана в коде языка объектно-ориентированного моделирования Modelica, что существенно упрощает процесс ее построения и анализа.

### **Синтез САЕ-технологий и аппарата аналитических исследований в задачах газодинамического проектирования ударно-волновых структур**

Лаптинская М.М., Савелова К.Э., Чернышов М.В.

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

В результате взаимодействия скачков уплотнения, ударных и изэнтропных волн между собой, с различными поверхностями и со слабыми разрывами образуются ударно-волновые структуры (УВС). Тройные конфигурации (ТК) скачков уплотнения представляют собой ударно-волновые системы, которые состоят из трех скачков, имеющих общую (тройную) точку, из которой также исходит тангенциальный (в неустановившихся течениях – контактный) разрыв. Из теории взаимодействия газодинамических разрывов известно, что ТК возникают в результате неравномерного отражения скачков (маховское отражение), а также в некоторых частных случаях взаимодействия догоняющих и встречных скачков [1, 2].

Увеличение эффективности сверхзвуковых воздухозаборников может быть достигнуто путем импульсного подвода энергии к отдельным скачкам уплотнения, образующим УВС нерегулярного взаимодействия. Для оценки влияния импульсного энергоподвода в работе решаются различного типа задачи, которые позволяют описать образующуюся тройную конфигурацию, её область существования, а также способность главного скачка инициировать детонацию на входе в сверхзвуковой воздухозаборник.

САЕ-технологии позволяют определить тип проектируемого воздухозаборника с техническими характеристиками, заданными заказчиков. Однако возникает вопрос о достоверности полученных результатов. Например, ТК, возникающая при маховском отражении, является структурой не всегда устойчивой. Необходимо знать, как влияют используемые численные методы на решение поставленных задач. В противном случае есть вероятность получить данные, отличающиеся от действительных. В дополнение к численным методам исследования, предпочтительным является использование математического аппарата аналитических исследований. Аппарат применения ударных поляр указывает на возможность существования неоднозначности решения для образующихся ударно-волновых структур в ряде практически важных случаев [3], а разрабатываемая приближенно-аналитическая модель струйного течения с маховским отражением и импульсным подводом энергии на главном скачке [4] позволяет быстро оценить параметры ударно-волновой структуры течения химически активной смеси, оценить достоверность результатов ресурсоёмкого численного моделирования.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FZWF-2020-0015.

Литература:

1. Усков В.Н., Чернышов М.В. Особые и экстремальные тройные конфигурации скачков уплотнения // Прикладная механика и техническая физика. 2006. Т. 47. № 4. С. 39-53.
2. Ben-Dor G. Shock Wave Reflection Phenomena. Berlin–Heidelberg–NewYork: Springer, 2007. 342 p.
3. Chernyshov M.V., Kapralova A.S., Savelova K.E. Ambiguity of solution for triple configurations of stationary shocks with negative reflection angle // Acta Astronautica. 2021. Vol. 179. Pp. 382-390.
4. Chernyshov M.V., Savelova K.E. An Approximate Analytical Model of a Jet Flow with Mach Reflection and Pulsed Energy Supply at the Main Shock // Fluids. 2023. Vol. 8. Issue 4. Paper No. 132. 16 p.

## **Анализ методов обработки пропусков в данных**

Лебедев М.В., Суржиков Г.Ф.

МАИ, г. Москва, Россия

Для получения приемлемого решения задач машинного обучения важно провести корректную предобработку данных, если данные содержат пропуски, следует выбрать эффективный метод их устранения.

Пропуски в данных могут быть отнесены к одной из следующих категорий: абсолютно случайные (MCAR) – не зависят от тех данных, что были пропущены, равно как и от наблюдаемых данных; случайные (MAR) – зависят от наблюдаемых данных; неслучайные (MNAR) – зависят непосредственно от пропущенных данных.

Удаление наблюдений, содержащих неполную информацию, может казаться очевидным и удобным решением, однако оно имеет свои границы применимости: при малом наборе наблюдений, а также при большой доле пропусков простое удаление «неполных» наблюдений приводит к снижению репрезентативности выборки, и, соответственно, модели на ее основе не вполне применимы к генеральной совокупности. С другой стороны, есть целый ряд алгоритмов, предназначенных для заполнения пропусков. Пропущенные значения для каждого признака можно заменять средним, медианой или же модой, однако такой подход имеет свои недостатки: происходит уменьшение дисперсии признака, к которому применяется такой метод, более того, искажается корреляция между признаками. В связи с этим, часто используются подходы на основе алгоритмов машинного обучения: линейная регрессия, метод ближайших соседей, EM-алгоритм и MissForest (на основе алгоритма случайного леса).

В рамках данной работы была произведена оценка качества работы алгоритмов заполнения пропусков следующим образом: был выбран набор данных, в котором каждому объекту была сопоставлена метка класса. Впоследствии были созданы две копии этого набора данных, в первой – 50% значений одного из признаков были заменены пропусками типа MCAR, в другой копии та же доля значений этого признака была заменена пропусками типа MAR. Далее к каждому из этих наборов данных с пропущенными значениями применялись различные подходы к заполнению пропусков: EM-алгоритм, заполнение с использованием линейной регрессии, заполнение с использованием MissForest и другие. Для каждого из полученных наборов была решена задача классификация для проверки эффективности алгоритмов заполнения пропусков. В качестве критерия качества решения этой задачи использовалась F1-мера.

## **Троичная логика как способ преодоления предела развития компьютерных технологий**

Лийн Е.А., Третьякова М.Ф., Круглянкин В.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В основе всех компьютерных и сетевых технологий лежит двоичная логика. Её основной принцип: любое существующее высказывание возможно отнести к одной из двух взаимоисключающих категорий. На этом создан универсальный язык общения техники.

Однозначность элементарных высказываний упрощает понимание, но вместе с тем сильно ограничивает возможности отображения реального мира. Ярким примером является усложнение построения моделей на двоичной логике для квантовых вычислений [1]. Оптимизация процесса также затрудняется лишними действиями. Например, для определения знака числа X необходимо провести две операции вместо одной. Единичная операция не затратная, но при увеличении количества действий возникают проблемы.

Еще одна сторона двоичной логики — категоричность. Отнесение событий всего лишь к двум исходам создаёт проблему понимания принципов работы ИИ, так как его логика строго ограничена выбором из двух вариантов ответа. Подобные ситуации критичны для ИИ военной или медицинской направленности.

Темп развития электроники снижается. Для примера рассмотрим увеличение частот ядер процессоров как одну из основных характеристик процессоров. За 20 лет, начиная с 1970-го года, компания «Intel» увеличила частоту процессоров в 50 раз, не считая внедрения новых принципов обработки информации (в пятом поколении процессоров появилась супер

скалярная технология), но в наше время рост частот увеличивается в среднем на 5 % за поколение, а техпроцесс достигнет минимума, когда расстояние между обкладками плоского конденсатора (толщина предзатворного диэлектрика), будет толщиной в один атом [2].

Одним из возможных решений представленной проблемы является поиск новых материалов с более высоким показателем диэлектрической проницаемости. На текущий момент их существование не гарантировано. Из этого следует, что существует необходимость расширения возможности обращения к принципиально другой концепции, а именно переход к троичной системе счисления.

Состояния в троичной логике наиболее полно отражают логику человеческих размышлений. Система включает в себя три состояния: ложь, неопределённость и правда. Расширение возможных значений позволяет упростить расчеты, уменьшая количество необходимых для вычисления операций. Например, упомянутое определение знака числа в троичной системе занимает всего одну операцию. Экономичность вычислений на троичной логике связана с уменьшением числа операций [3].

Добавление третьего состояния, помимо прочего, упрощает создание математических моделей, на базе которых создается и обучается современный искусственный интеллект. Соответственно, модели станут менее категоричными, а значит более гибкими и точными в принятии решений.

Литература:

1. Берзин Д. В. Квантовые вычисления и автоматизированные системы проектирования // МНИЖ. — 2014. — №8-1(27). — С. 9-12.

2. Оптимизация потерь электроэнергии микропроцессоров / И. М. Бабкин, Ильин А.Е., Дунаев Н.Н. [и др.]. Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 25 (263). — С. 93-97.

3. Бурцев А.А. Бурцев В.А., О преимуществах троичных машин и эффективности троичных вычислений // Труды научно-исследовательского института системных исследований российской академии наук. — 2021. — №97(3). — С. 91-96

### **Идентификация нелинейных моделей звеньев контура «упругий ЛА – КСУ»**

Лисейкин Г.В., Сафин К.З.

ЦАГИ, г. Жуковский, Россия

Процесс идентификации системы управления представляет собой создание математической модели во временной и/или частотной области в виде совокупности объектов, поведение которых считается известным. На сегодняшний день важным направлением в теории автоматического управления является разработка методов идентификации нелинейных систем управления. В данной работе рассматривается разработка методов идентификации нелинейных систем в среде разработки Matlab на основе данных, полученных в ходе наземных частотных испытаний контура «упругий летательный аппарат (ЛА) – комплексная система управления (КСУ)» нескольких самолетов. Данный контур содержит существенно нелинейные звенья, такие как приводы управления, цифровой вычислитель, конструкция ЛА.

Целью работы является разработка метода создания расчетных моделей элементов контура «упругий ЛА – КСУ» на основе данных из некоторого конечного числа экспериментов. В основном, в работе используется нелинейная модель Хаммерштайна-Винера.

На первом этапе была решена задача идентификации системы на основе данных, полученных в виртуальном эксперименте. К идеальному колебательному звену были добавлены различные нелинейные звенья с известными параметрами, а именно: зона нечувствительности, насыщение, запаздывание и квантование. В среде Matlab была получена модель, воспроизводящая поведение ранее упомянутой системы. По критерию NRMSE (нормализованное среднеквадратичное отклонение) во временной области сходимость модели на тестовой выборке составила 95%. На следующем этапе работы с помощью подходов, разработанных на первом этапе исследования, были идентифицированы различные звенья контура «упругий ЛА – САУ» на основе экспериментальных данных во временной области.

В данной работе показано, что метод идентификации моделей, основанный на нелинейной модели Хаммерштайна-Винера, может быть успешно применен в задачах исследования аэроупругой устойчивости для систем, обладающих существенными нелинейными свойствами.

Литература:

[1] A.Wills, T.Schön, L.Ljung, B.Ninness, Identification of Hammerstein–Wiener models, Automatica 29 (2013), 70–81

### **Об орбитальной устойчивости маятниковых колебаний динамически симметричного тяжелого твердого тела с одной неподвижной точкой при резонансах**

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 находятся в отношении 1:4:1. При такой геометрии масс всегда возможны плоские маятниковые колебания или вращения тела относительно горизонтально расположенной экваториальной оси инерции.

Для динамически симметричного твердого тела задача об орбитальной устойчивости таких движений изучалась ранее в [1-4]. В рассматриваемом здесь частном случае орбитальная устойчивость исследовалась в [5-7]. В этом случае в задаче имеются два параметра: константа интеграла энергии и угол между радиус-вектором центра масс тела и экваториальной плоскостью его эллипсоида инерции. Было показано, что маятниковые вращения орбитально неустойчивы, а маятниковые колебания в зависимости от значений параметров могут быть как орбитально устойчивы, так и орбитально неустойчивы [6,7]. Неприведенными остались лишь 15 точек в плоскости параметров, отвечающие различным резонансным случаям.

В работе выполнено исследование орбитальной устойчивости маятниковых колебаний для значений параметров, отвечающих упомянутым выше резонансным случаям. Задача об устойчивости решалась с учетом членов до шестого порядка включительно в разложении функции Гамильтона уравнений возмущенного движения. Было построено симплектическое отображение, генерируемое уравнениями возмущенного движения. Это позволило свести исходную задачу к исследованию устойчивости неподвижной точки построенного симплектического отображения. Были получены строгие выводы об орбитальной устойчивости для всех 15 резонансных точек. Проведенное исследование позволило завершить решение задачи об орбитальной устойчивости маятниковых периодических движений для тела, главные моменты инерции которого находятся в отношении 1:4:1.

Исследование выполнено в Московском Авиационном Институте (Национальном Исследовательском Университете) за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-21-00729).

Литература:

1. Бардин Б.С., Савин А.А. Об орбитальной устойчивости маятниковых колебаний и вращений симметричного твердого тела с неподвижной точкой – Нелинейная динамика. 2012. Т. 8. № 2. С. 249-266.

2. Bardin B.S., Rudenko T.V., Savin A.A. On the orbital stability of planar periodic motions of a rigid body in the Bobylev-Steklov case. – Regular and Chaotic Dynamics. 2012. Vol. 17. № 6. pp. 533-546.

3. Bardin B.S., Savin A.A. On the orbital stability of pendulum-like oscillations and rotations of a symmetric rigid body with a fixed point. – Regular and Chaotic Dynamics. 2012. Т. 17. № 3-4. pp. 243-257.

4. Бардин Б.С., Савин А.А. Об устойчивости плоских периодических движений симметричного твердого тела с неподвижной точкой. – Прикладная математика и механика. 2013. Т. 77. № 6. С. 806-821.

5. Бардин Б.С. К задаче об устойчивости маятникообразных движений твердого тела в случае Горячева-Чаплыгина – Известия РАН. Механика твердого тела. 2007. № 2. С. 14-21.

6. Bardin B.S., Maksimov B.A. The orbital stability analysis of pendulum oscillations of a heavy rigid body with a fixed point under the Goryachev - Chaplygin condition // J. Math. Sci., 2023, Vol. 275, Issue 1, pp. 66-77.

7. Бардин Б.С., Максимов Б.А. Об орбитальной устойчивости маятниковых периодических движений твердого тела с одной неподвижной точкой, главные моменты инерции которого находятся в отношении 1:4:1 // Прикладная математика и механика. 2023, том 87, №5, С. 784-800.

### **Математическая модель оценки влияния человеческого фактора при анализе авиационных происшествий**

<sup>1</sup>Маркарян А.О., <sup>2</sup>Березнова К.С.

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>НИТУ МИСИС, г. Москва, Россия

Авиакатастрофа – это всегда серьезное происшествие, которое вызывает огромный резонанс не только из-за большого числа жертв, но и потому, что такая чрезвычайная ситуация, как правило, наносит вред окружающей среде. Изучение данных об авиакатастрофах демонстрирует, что в некоторых ситуациях проблемы могли бы быть предотвращены, но вмешательство человека часто приводит к трагическим исходам. Таким образом, актуальной является задача анализа авиационных происшествий и, конкретно, определение степени влияния человеческого фактора на их возникновение.

Целью исследования является разработка математической модели, позволяющей оценить влияние человеческого фактора на авиационные инциденты, с применением методов регрессионного анализа.

Использование такого подхода позволило провести оценку степени воздействия человеческого фактора в трех категориях инцидентов: авиационные аварии без жертв, аварии с летальными последствиями и серьезные происшествия, которые указывают на высокий риск аварии, но не приводят к ней. В ходе исследования рассматривались два типа воздушных судов: те, чья взлетная масса меньше 5700 кг, и те, у которых масса превышает 5700 кг.

В ходе исследования была разработана математическая модель, которая описывает взаимосвязь между авиакатастрофами и доказанными фактами наличия человеческих ошибок.

Анализ показал, что в обеих весовых категориях воздушных судов наблюдается наибольшее воздействие человека на серьезные инциденты, ошутимое – на аварии без летальных последствий и лишь незначительное – на авиационные аварии с летальными последствиями.

Хотя человеческий фактор не является первопричиной авиакатастроф с жертвами, результаты исследования подчеркивают важность мер предосторожности и соблюдения техники безопасности, а также тщательного подбора персонала, обучения и проведения различных тренировочных мероприятий для минимизации количества несчастных случаев во всех представленных группах.

Литература:

1. Дрейпер Н. Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. – М.: Вильямс, 2016. – 912 с.
2. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 632 с.
3. Annual Safety Review 2016-2022 // European Union Aviation Safety Agency URL: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/annual-safety-review-2022>

### **Химическая физика, горение и взрыв, физика экстрема**

Мартюшов С.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Характерным свойством горения смеси  $H_2 - O_2$  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 концентраций (скорость изменения их концентраций полагается равной нулю). Для компонент H, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> рассматривается упрощенная система уравнений, при этом скорость роста H существенно превышает скорости изменения «медленных» компонент H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, поэтому эта система уравнений должна решаться в другом временном масштабе. Разработан алгоритм расчета горения и детонации водородо-воздушных смесей на основе теории ветвящихся цепных реакций. Проведенные расчеты показали применимость указанного алгоритма для задач инициации горения и перехода к детонации в водородо-воздушных смесях. Численный эксперимент состоял в данном случае в расчете термодинамических параметров газовой смеси, при этом значения молярных концентраций газовой смеси рассчитывались при помощи решения жесткой системы обыкновенных дифференциальных уравнений по явному численному методу Гира. Было проведено усовершенствование алгоритма автора, основанного на использовании системы уравнений кинетики для 11 химических реакций реагирующей водородо-воздушной смеси из 9 компонент. Модернизация заключалась в вычислении потоков компонент смеси в одномерном операторе шага на основе строго противопоточной разностной схемы. В полном алгоритме шага по времени на один шаг для газовой динамики использовалось несколько (5-50) шагов решения системы уравнений кинетики. В качестве модельной решалась задача инициации горения на стационарной ударной волне в плоском канале. За небольшой интервал времени расчета удалось получить устойчивый рост концентрации H<sub>2</sub>O в смеси при одновременном уменьшении концентрации O<sub>2</sub> (как критерий возникновения реакции горения). Разработанная модификация была использована для расчета течений горения в каналах с сужениями. Для четырех таких конфигураций получено устойчивое воспламенение в областях каналов непосредственно за сужениями. Для построения криволинейных регулярных расчетных сеток использовался алгоритм, предложенный автором. Предполагается дальнейшее использование предложенного модифицированного алгоритма, в том числе для расчета трехмерных задач горения водородо-воздушных смесей.

Семенов Н.Н. Самовоспламенение и цепные реакции. Успехи химии Т. 36 № 1 с.3-22, 1967.

### **О задаче максимизации вероятности успешного прохождения теста в системе дистанционного обучения**

Наумов А.В., Степанов А.Е., Устинов А.Э.  
МАИ, г. Москва, Россия

В докладе рассматривается важная задача оптимизации стратегии прохождения ограниченного по времени теста в условиях неопределенности параметров модели. Цель работы – разработать метод нахождения оптимальной последовательности решения заданий, максимизирующей вероятность успешного прохождения теста.

В качестве критерия оптимальности предложено использовать максимизацию вероятности превышения заранее заданного минимально допустимого количества баллов по итогам теста. Подробно описаны детерминированные (общее время, баллы за задания) и случайные (вероятности правильного решения, время на решение заданий) параметры модели.

Случайными считаются индивидуальные для каждого типа заданий вероятности их правильного решения конкретным тестируемым, а также распределения затрачиваемого им времени на решение заданий каждого типа в случае верного и неверного ответа.

Сформулирована задача стохастического линейного программирования с булевыми переменными оптимизации. Предложен эффективный алгоритм решения задачи, включающий процедуры сокращения перебора допустимых стратегий.

Разработанный алгоритм позволяет находить оптимальную стратегию прохождения теста, максимизирующую вероятность набора требуемого количества баллов с обязательным учетом ограничения на время тестирования.

Проведен численный эксперимент, подтверждающий работоспособность предложенного метода. Получены количественные зависимости оптимального решения от параметров модели.

Результаты исследования могут быть применены для разработки адаптивных интеллектуальных тестов в компьютерных системах обучения.

Литература:

1. Кан Ю.С., Кибзун А.И. Задачи стохастического программирования с вероятностными критериями. М.: Физматлит, 2009.
2. Кибзун А.И., Наумов А.В., Норкин В.И. О сведении задачи квантильной оптимизации с дискретным распределением к задаче смешанного целочисленного программирования // Автоматика и Телемеханика, 2013. № 6. С. 66–86.

### **Математические модели для проектировочных исследований конструкции геометрически подобной модели крыла магистрального самолета**

Нгуен Ван Нгок

МФТИ, г. Москва, Россия

Геометрически подобные модели самолетов, которые используют при испытаниях в аэродинамических трубах для экспериментального исследования аэродинамических характеристик при проектировании самолетов, не удается делать абсолютно жесткими. Расчетные и экспериментальные исследования показывают, что даже стальные модели при больших скоростных напорах подвержены упругим деформациям, которые из-за упругой крутки несущих поверхностей могут заметно исказить результаты испытаний [1].

В данной работе рассмотрена методика создания математических моделей для проектировочных исследований геометрически подобной модели крыла магистрального самолета, которые позволяют минимизировать угол упругой крутки модели для разных компоновок крыла и режимов обтекания.

Для проектировочных исследований используются математические модели как на основе балочной схематизации, так и на основе объемных конечных элементов с применением блока статической аэроупругости комплекса программ Nastran. Для расчета жесткостных параметров балочной схемы используется специальная программа WingDesign, разработанная на основе метода гидродинамической аналогии [2]. Разработаны процедура параметризации сечений конструкции, алгоритмы и программное обеспечение для оптимизации параметров при выбранной конструктивно-силовой схеме.

Выявлено, что для минимизации углов упругой крутки необходимо изготавливать модели с внутренними полостями (щелями) определенной конфигурации. Результаты расчетных исследований показывают, что применение разработанных математических моделей позволяет минимизировать углы поточной крутки крыла модели магистрального самолета в условиях испытаний в аэродинамической трубе. При этом погрешность в определении аэродинамических характеристик снижается до приемлемых значений.

Литература:

1. Горбушин А.Р., Ишмуратов Ф.З., Нгуен Ван Нгок. Исследование зависимости упругих деформаций «жестких» аэродинамических моделей от их геометрических и конструкционных параметров. Вестник Московского авиационного института. 2022 Т. 29. № 2. С. 45-60.
2. Вождаев В.В., Теперин Л.Л., Чан Ван Хынг. Метод определения жесткостных характеристик аэроупругих моделей крыльев большого удлинения. // Авиационная промышленность, №3, 2014.

## **О применении генетических алгоритмов для оптимизации промышленного производства**

Нейперт Т.А., Корж С.Е.  
МАИ, г. Москва, Россия

Согласно действующему постановлению Федерального правительства России в области цифровой трансформации производства, на данный момент существуют такие проблемы как низкая производительность труда и неоптимальное использование ресурсов [1]. Это в равной степени относится и к аэрокосмической промышленности, и, в частности, к агрегатной сборке.

Планирование совокупности производственных процессов для любого крупного предприятия является нетривиальной задачей. В данный момент существует программное обеспечение (например, AnyLogic, Tecnomatix Plant Simulation), позволяющее решать задачи планирования производства, такие как распределение ресурсов предприятия и финансов, управление потоками добавления ценности и т.д. [2,3]. Однако задача оптимизации составляющих производственного процесса в пространстве на данный момент не решена окончательно. Решение задачи определения рационального расположения производственных участков и рабочих мест актуально для предприятия любого масштаба, так как сократит длительность производственного цикла изделия.

Для решения поставленной задачи в работе предлагается использовать программное обеспечение для имитационного моделирования производств в связке с генетическим алгоритмом анализ систем [5]. Целью работы является сокращение затрат времени и ресурсов на этапе проектирования новых производственных участков. Задачей работы является анализ применения генетических алгоритмов для прогнозирования потребности в производственных площадях с учетом рационального расположения рабочих мест.

Решение планируется осуществлять в виртуальной среде, в которой может быть создан цифровой двойник производства, аппроксимированный до необходимых масштабов (цех – ячейка – рабочее место). Данный двойник будет считаться исходным. Далее создается математическая система, описывающая «начальную популяцию» - первый вариант расположения транспортных связей между всеми элементами завода, и также описывающая критерии отбора значений. Далее происходит некоторое количество циклов отбора и модификации транспортных путей предприятия. Главным критерием целесообразности отбора является сокращение длительности производственного цикла. Граничными условиями являются исходная площадь предприятия, наличие препятствий между рабочими местами и ограниченная вариативность технологических маршрутов для номенклатуры изделий.

Итогом такой симуляции становится найденное рациональное расположение рабочих мест на производственном участке с учетом транспортных маршрутов между ними.

Литература:

1. Распоряжение Правительства РФ от 06.11.2021 N 3142 «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности».
2. Абрамова И. Г. и др. Имитационное моделирование организации производственных процессов машиностроительных предприятий в инструментальной среде Tecnomatix Plant Simulation. – 2014.
3. Жаров М. В. Исследование перспектив применения программных сред имитационного моделирования при разработке и оптимизации производств машиностроения //Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2021. – №. 3 (54). – С. 58-67.
4. Mekki B. S., Langer J., Lynch S. Genetic algorithm-based topology optimization of heat exchanger fins used in aerospace applications //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2021. – Т. 170. – С. 121002.

## **Исследование турбулентного потока в массиве каналов ограниченного сечения различной формы**

Нечипорук С.Ю., Захаров В.С., Гусев С.В., Филатов Д.С.  
ЦИАМ, г. Москва, Россия

Для получения заданного уровня турбулентности потока и создания равномерного и однородного поля в большинстве случаев используют выпрямительные решётки и сетки. Определённую эффективность для достижения требуемых параметров равномерности течения показал массив каналов сотового типа [1]. Для анализа эффективности и оценки характеристик подобных устройств проводятся экспериментальные и численные исследования [2,3]. Для общих случаев в [4] приведены рекомендации по выбору спрямляющих поток устройств на основе приведённых экспериментальных данных. Однако, в связи с широким диапазоном варьируемых переменных и количеством изменяемых геометрических параметров выпрямительных устройств, в частных случаях при интерполяции результатов возможно наличие погрешности в определении параметров потока. Поэтому, закладывая в качестве основы для дальнейших исследований данные, приведённые в рассматриваемых работах, необходимо проводить валидацию и подробное исследование взаимодействия выпрямительных устройств с потоком.

Целью данной работы является исследование турбулентного потока в массиве каналов ограниченного сечения различной формы. Исследования проводились с помощью программ моделирования газовой динамики совершенного вязкого теплопроводного газа. Основой численного метода является решение осреднённой системы уравнений Навье–Стокса методом конечных объемов. Для создания определённой степени завихренности и турбулентности потока, подача газа в основную область моделирования осуществлялась в тангенциальном направлении. В качестве линейки исследуемых устройств рассматривались четыре основные модели [4] трубчатой и сотовой форм.

В результате, при анализе полученных данных были составлены зависимости гидравлического сопротивления устройств различных форм от их характерных геометрических размеров. Были найдены геометрические параметры выпрямительных устройств, обеспечивающие наименьшее гидравлическое сопротивление при достаточном уровне равномерности потока, а также выбраны критерии для сравнения степени завихренности течения.

[1] Дербунович Г.И., Лаврухина С.П., Михайлова Н.П., Репик Е.У., Соседко С.П. Гидравлическое сопротивление хонейкомба // Ученые записки ЦАГИ. 1993. Т.24. №2. С. 107-113.

[2] Богданов В.В., Казарян А.А. Измерение пульсаций давления в ячейках хонейкомба с помощью тонкопленочных датчиков // Учебные записки ЦАГИ. 1992. Т.23. №2. С. 85-89.

[3] Yujun Li, Zhiyong ZHAO, Chuang LIU, Qi LIU, Lishuai SUN, Junbiao WANG A novel method to eliminate the bending-induced collapse of hexagonal honeycomb // Chinese Journal of Aeronautics. 2023. P.13

[4] ГОСТ 8.586.1-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств 2005. 51 с.

## **Определение орбиты на борту кубсата на основе данных ГНСС**

Носырев А.Н., Фукин И.И., Кузнецов А.А.  
МФТИ, г. Москва, Россия

Настоящая работа посвящена решению обратной задачи орбитальной динамики (определение траектории космического аппарата на основе измерений) на бортовой вычислительной машине (БВМ) кубсата. Как источник измерений рассматривается датчик глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС).

Для точного восстановления траектории движения тел в околоземном пространстве применяются различные методы. Наиболее распространёнными решениями являются метод наименьших квадратов (МНК) и фильтр Калмана [1]. МНК подразумевает решение (трудоемкой) задачи оптимизации. К тому же, для успешного применения МНК необходимо учитывать множество возмущающих сил, действующих на спутник. Поэтому использование

МНК на БВМ не представляется разумным. Фильтрация Калмана не так трудозатратна, а также менее зависит от точности модели движения. Поэтому основным методом для бортовых вычислений была выбран подход Калмана. В данной работе рассматривались две модификации фильтра Калмана: расширенный (ЕКФ) и сигма-точечный (УКФ) [2].

Алгоритм ЕКФ является наиболее простым и быстрым из всех алгоритмов нелинейной фильтрации. Однако его использование подразумевает линеаризацию динамических уравнений системы. Вследствие этого ЕКФ обладает только первым порядком аппроксимации оценки вектора состояния системы и его матрицы ковариации.

УКФ благодаря сигма-точечному преобразованию обладает третьим порядком аппроксимации оценки вектора состояния. Однако, алгоритм данного преобразования предполагает построение не одной траектории спутника, а  $2N + 1$ , где  $N$  – количество определяемых параметров. В случае орбитальной динамики  $N$  не меньше 6. В работе авторами был предложен подход для снижения вычислительной сложности алгоритма путем упрощения вычисления траекторий, порождаемых сигма-точками. Он заключается в том, что численное интегрирование с учётом нескольких гармоник геопотенциала ведётся только для центральной траектории, остальные  $2N$  траекторий предсказываются по аналитическим формулам в предположении Кеплеровой орбиты.

Авторами был проведён сравнительный анализ точности определения параметров орбиты и быстродействия фильтрации Калмана в зависимости от:

1. используемой модификации фильтра Калмана;
2. учитываемого числа гармоник геопотенциала при вычислении силы притяжения Земли в процессе численного интегрирования;
3. переменных фильтрации – положение и скорость или модифицированные равноденственные элементы орбиты [3].

При определении положения спутника с помощью ГНСС возникают «выбросы» - некорректные измерения, ошибка которых в несколько раз больше ошибки обычных измерений [4]. Для точного восстановления орбиты необходимо иметь возможность в автоматическом режиме определять и исключать такие некорректные измерения. В связи с этим авторами реализован и исследован алгоритм анализатора измерений [1], который обладает вышеописанным функционалом.

1. Wright J. et al. Orbit determination tool kit theory and algorithms. – 2013.
2. Куликова М. В., Куликов Г. Ю. Численные методы нелинейной фильтрации для обработки сигналов и измерений //Вычислительные технологии. – 2016. – Т. 21. – №. 4. – С. 64-98.
3. Walker M. J. H., Ireland B., Owens J. A set modified equinoctial orbit elements //Celestial mechanics. – 1985. – Т. 36. – №. 4. – С. 409-419.
4. Choi E. J. et al. Onboard orbit determination using GPS observations based on the unscented Kalman filter //Advances in Space Research. – 2010. – Т. 46. – №. 11. – С. 1440-1450.

### **Исследование динамики вертолѐта с использованием прогнозирующих моделей на основе нейронных сетей**

Петров К.С., Кудрявцева И.А., Погорелкая П.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В работе проводится исследование динамики движения вертолѐта с использованием прогнозирующих моделей на основе нейронных сетей. Стратегия модельного прогнозирующего управления (МРС) хорошо себя зарекомендовала и является весьма эффективной при решении задач управления вертолѐтом в силу постоянно изменяющихся внешних условий. Данный подход пригоден для систем с множественными входами и выходами, легко встраивает в алгоритм расчета учет ограничений на управление и неопределенностей в возмущениях. Процедура алгоритма предполагает организацию проведения оптимизации для нахождения прогнозирующего управления в реальном времени, что требует высоких вычислительных ресурсов. Этот факт можно отнести к недостаткам подхода МРС. Среди многообразия решений можно выделить альтернативные подходы, позволяющие получить похожие выходы системы для заданных входных

переменных, обладающие меньшими вычислительными затратами. Одним из подобных подходов является применение нейронных сетей. Нейронная сеть обучается на данных, сгенерированных с помощью заданных уравнений движения и контроллера, использующего прогнозирующую модель управления. [1-3].

Подход на основе прогнозирующей модели управления предполагает расчёт будущих состояний системы на определённое число шагов (горизонт прогнозирования) на основе текущего состояния с дальнейшей оптимизацией по управлению некоторого функционала, зависящего от рассчитанных состояний. Результатом оптимизации является последовательное изменение вектора управления, приводящее систему к предполагаемой целевой траектории за некоторое определённое число шагов, называемое горизонтом управления.

В работе предлагается обучить нейронную сеть по выходу MPC модели. Обучение нейронной сети сводится к использованию управления, полученного с применением MPC-контроллера: нейронная сеть, как и MPC-контроллер, на вход получает текущие значения вектора состояния системы, а её выход в процессе обучения сравнивается с управлением, рассчитанным с помощью MPC-контроллера, после чего соответствующим образом пересчитываются веса нейронов в сети. После окончания обучения нейронная сеть способна заменить MPC-контроллер [1,5].

Предложенный алгоритм реализован в виде программного обеспечения на языке программирования Python. С помощью разработанного программного обеспечения произведено исследование движения различных моделей вертолётов при различных параметрах моделирования, а также проведён сравнительный анализ полученных результатов.

Литература:

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. Irina Kudryavtseva, Aleksandr Efremov, and Andrei Pantelev, "Optimization of helicopter motion control based on the aggregated interpolation model", AIP Conference Proceedings 2181, 020008 (2019).
4. Irina Kudryavtseva, Kirill Petrov, Stability Analysis of helicopter dynamics with in-complete information using MPC, MATEC Web of Conferences 362, 01012 (2022).
5. Punjani, Ali and Abbeel, Pieter, Machine Learning for Helicopter Dynamics Models. Technical Report No. UCB/ECS-2014-219, 2014.

### **Модификация метода суперэллипсоидальной аппроксимации для динамических систем с несимметричными ограничениями на управление**

Подгорная В.М.

МАИ, г. Москва, Россия

В докладе рассматривается линейная дискретная система управления, определяющаяся своей невырожденной матрицей и множеством допустимых значений управлений, которое представляет собой выпуклый компакт, содержащий в себе начало координат. Для данной системы решается задача быстрого действия, то есть требуется построить набор допустимых управляющих воздействий, переводящих систему из заданного начального состояния в начало координат за минимальное число шагов. Спецификой данной задачи является сложность использования стандартных методов теории оптимального управления, что обусловлено неединственностью оптимального управления почти для всех начальных состояний и дискретной критериальной функцией.

В случае строго выпуклых ограничений в [1] сформулированы необходимые и достаточные условия оптимальности траектории в виде принципа максимума. Однако применение на практике данного подхода проблематично, так как появляется сложность составления и разрешения системы уравнений для вычисления начального состояния сопряженной системы. Если множество допустимых значений управлений является

суперэллипсом, то соответствующая система алгебраических уравнений может быть получена явно [2].

Это может быть удобно с точки зрения аппроксимации выпуклого множества допустимых значений управлений исходной системы некоторым суперэллипсом, для которого задача быстрогодействия может быть решена аналитически. Также при использовании суперэллипсов появляется больше параметров свободы и повышается точность аппроксимации исходного множества, в сравнении с классическими методами эллипсоидальной аппроксимации. Однако недостатком данной аппроксимации является большая погрешность для несимметричных множеств, что связано с тем, что каждый суперэллипс является множеством симметричным относительно начала координат.

В данном докладе предлагается модифицировать данную методику за счет изменения центра суперэллипсоидального множества, что должно повысить точность аппроксимации для несимметричных множеств в том числе. В качестве центра суперэллипса предлагается использовать, например, чебышевский центр или центр масс, хотя допустимы другие варианты. Это также может быть использовано для моделирования множеств 0-управляемости динамических систем, описывающих, например, движение летательных и космических аппаратов.

Литература:

1. Ибрагимов Д.Н., Сиротин А.Н. О задаче быстрогодействия для класса линейных автономных бесконечномерных систем с дискретным временем и ограниченным управлением // АиТ. 2017. № 10. С. 3–32.

2. Ибрагимов Д.Н., Подгорная В.М. Формирование оптимального по быстродействию ограниченного управления для линейных дискретных систем на основе метода суперэллипсоидальной аппроксимации // АиТ. 2023. № 9. С. 37–67.

### **Исследование движения тела по горизонтальной шероховатой плоскости посредством относительного кругового движения внутренней массы в случае, когда скорость этого движения является периодической функцией времени**

Рачков А.А., Бардин А.Б.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается движение твердого тела, несущего подвижную массу. Твердое тело находится на горизонтальной шероховатой плоскости, опираясь на нее своей плоской гранью. Между телом и плоскостью действуют силы сухого кулоновского трения. Подвижная масса совершает внутри тела относительное движение по окружности с центром, находящемся в центре масс тела. Окружность расположена в вертикальной плоскости, а движение внутренней массы по ней происходит против часовой стрелки. Перемещение внутренней массы, 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 капсульных роботов.

Движение описанной выше механической системы рассматривалось ранее в случаях, когда скорость ее движения по окружности постоянна по модулю [1,2,3,4]. В данной работе предполагается, что абсолютная величина скорости относительного движения подвижной массы по окружности меняется по гармоническому закону и принимает в начальный момент времени своё максимальное значение. Такой выбор зависимости скорости от времени, в частности, позволяет учесть влияние силы тяжести на скорость движения подвижной массы по окружности. Было установлено, что в этом случае при различных значениях параметров может существовать 1, 2 или 4 зоны замедления, на которых скорость тела направлена противоположно его ускорению. Это делает динамику рассматриваемой системы более сложной, чем рассмотренных ранее в [1,2,3,4] в случаях, когда существует не более двух зон замедления. В работе получены уравнения прямолинейного движения тела и найдены условия, при которых за счет перемещения внутренней массы тело может начать движение

из состояния покоя. Также были определены режимы движения тела с периодически меняющейся скоростью и найдены условия их существования.

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.

### **О реализации заданных относительных движений в космической тросовой системе с солнечным парусом**

Родников А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматривается космическая система, состоящая из массивной гелиоцентрической космической станции и легкого космического аппарата (КА), оснащенного солнечным парусом, соединенных невесомым нерастяжимым тросом. В этом случае движение КА относительно станции ограничено сферой радиуса равного длине троса. Уравнения относительного движения КА выписываются в предположении, что размеры системы пренебрежимо малы по сравнению с радиусом орбиты станции, а относительная скорость КА мала по сравнению с орбитальной. В этом случае орбитальная система отсчета оказывается близкой к инерциальной. Поэтому уравнения относительного движения КА могут быть записаны как простейший вариант уравнений с неопределенным множителем Лагранжа из [1].

Ставится задача поиска закона управления положением нормали к СП, обеспечивающего движение КА по заданной траектории на сфере, причем закон такого движения выбирается таким образом, чтобы как начальная и конечная скорость, так и начальное и конечное ускорения КА были равны нулю.

При заданном законе движения в каждый момент времени уравнения движения можно рассматривать как три алгебраических соотношения, связывающие между собой множитель Лагранжа и проекции силы, действующей на СП, на оси орбитальной системы координат. Используя выбранную математическую модель воздействия солнечной радиации на парус, можно выразить эти проекции через компоненты орта нормали к СП в той же системе координат. Кроме того, оказывается, что эти компоненты связаны между собой некоторым алгебраическим уравнением, которое после ряда преобразований можно записать в виде равного нулю полинома по проекции орта нормали к СП на местную вертикаль.

В силу естественных ограничений, заданное движение оказывается реализуемым, если в каждый момент времени этот полином имеет положительный действительный корень, не превосходящий единицы, а соответствующее значение множителя Лагранжа неположительное. В работе приводятся примеры реализуемых и нереализуемых движений.

1. Rodnikov, A. V. Coastal navigation by a solar sail. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 2020, vol. 868,012021

### **Системы массового обслуживания для задач имитационного моделирования производственных процессов**

Сайдалиева Д.Р., Лийн Е.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Производство — это сложный организм с множеством взаимосвязанных элементов и процессов. От того, насколько слаженно все эти компоненты взаимодействуют между собой,

зависит эффективность работы предприятия. Руководители цифровых производств сталкиваются с многообразием проблем производства: недостаток квалифицированной рабочей силы, устаревшее оборудование, неэффективные процессы. Каждая проблема создает издержки, повышает себестоимость конечного продукта и снижает его качество. [1][2]

Один из методов оценки эффективности производства и последующей его оптимизации – построение математической модели предприятия, которая может наиболее точно повторить производственные процессы, происходящие в нем. Разработана имитационная модель производственных процессов, позволяющая формализовать работу производства путем введения критериев оценки: загруженность участка и дисбаланс производственных линий. Модель позволяет упростить общее видение каждого процесса и обратить внимание на суть работы производственного участка, благодаря методам генерализации в процессе подготовке имитационной модели. [3]

Описанный алгоритм подходит лишь для описания производств с определенной структурой и не может учитывать технические проблемы производства, включающие в себя неполадки с оборудованием, проблемы с поставками и другие обстоятельства, способные привести к прерыванию производства и значительным экономическим потерям. Чтобы математическая модель производства смогла отражать более реальную картину производства, предлагается рассматривать каждый блок производственного процесса как систему массового обслуживания (СМО). [4]

Выбор конкретных критериев эффективности зависит от целей и задач, стоящих перед управляемой СМО, а также от особенностей конкретной организации или бизнеса.

Для контроля качества функционирования системы производственных процессов выбраны следующие параметры: время ожидания, пропускная способность, загрузка ресурсов, качество обслуживания, экономическая эффективность. Поэтому при построении математической модели производства, предлагается использование одноканальной, разомкнутой СМО с ожиданиями, допускающую очередь.

Такого рода система выбрана в связи с тем, что в производстве на одной единице оборудования в единый момент времени происходит единственная технологическая операция, что позволяет сделать вывод об одноканальности системы. В производственном процессе не допустимы потери, поэтому система будет описана, как система с ожиданиями и возможность допускать очереди. Более того, в системе функционирует не конечное количество деталей, что позволяет говорить о том, что систему стоит рассматривать как разомкнутую.

Проведено моделирование на примере технологического процесса производства односторонних печатных плат, которое показало эффективность построения математической модели производственных процессов с помощью рассмотрения каждого блока производства как СМО.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных — кандидатов наук (МК–582.2022.4).

1. Проблемы на пути цифровой трансформации на российских предприятиях /Долженко Р.А., Малышев Д.С.// Вестник НГУЭУ.2022 №1.С.31-51

2. Применение возможностей имитационного моделирования в обучении принципам организации производства /Лийн Е.А., Хомутская О.В

3. Система массового обслуживания в математическом и имитационном моделировании /Мизинов А.А., Курзаева Л.В. УДК 004

URL: <https://technology.snauka.ru/2017/01/11667>

## Оценка предельного множества управляемости на основе принципа сжимающих отображений

Симкина А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В докладе обсуждается задача построения для линейной автономной дискретной системы с ограниченным управлением предельного множества 0-управляемости, это множество тех начальных состояний, из которых можно перевести систему в начало координат за произвольное конечное число шагов посредством выбора допустимого управления. Построение множеств управляемости тесно связано с задачами управления динамическими системами, где зачастую управляющее воздействие ограничено техническими возможностями: реактивные двигатели имеют ограниченную тягу и конечный запас топлива, приводы различных роботизированных систем тоже способны развивать некоторое фиксированное усилие. Отдельный интерес методы построения и оценивания предельного множества 0-управляемости представляют в случае решения задачи быстродействия. Имея возможность построить предельное множество 0-управляемости либо его оценку, можно для ряда начальных состояний определить разрешима ли задача быстродействия в принципе.

Для случая, когда предельное множество 0-управляемости ограничено (все собственные значения матрицы системы по модулю строго больше 1), сформулирована теорема, позволяющая определить сжимающее отображение в пространстве компактов с расстоянием Хаусдорфа. С одной стороны, замыкание предельного множества 0-управляемости является единственной неподвижной точкой сжимающего отображения. С другой стороны, принцип сжимающих отображений позволяет оценить погрешность приближения предельной точки с помощью метода простой итерации. Сформулированная теорема позволяет построить внешнюю оценку предельного множества 0-управляемости на основе принципа сжимающих отображений с любой наперед заданной точностью. Выбор нормы также влияет на значение расстояния Хаусдорфа, что, в конечном счёте, определяет структуру внешних оценок предельных множеств 0-управляемости. Данный факт также сформулирован в виде теоремы.

На модельных примерах продемонстрированы теоретические результаты, полученные в рассмотренных теоремах.

Литература:

1. Берендакова А.В., Ибрагимов Д.Н. О методе построения внешних оценок предельного множества управляемости для линейной дискретной системы с ограниченным управлением // *АиТ*. 2023. №2, стр.3-34
2. Берендакова А.В., Ибрагимов Д.Н. Метод построения и оценивания асимптотических множеств управляемости двумерных линейных дискретных систем с ограниченным управлением // *Труды МАИ*, №126 2023.
3. Ибрагимов Д.Н., Порцева Е.Ю. Алгоритм внешней аппроксимации выпуклого множества допустимых управлений для дискретной системы с ограниченным управлением // *Моделирование и анализ данных*. 2019. №2. С.83-98
4. Сиротин А.Н., Формальский А.М. Достижимость и управляемость дискретных систем при ограниченных по величине и импульсу управляющих воздействиях // *АиТ*. 2003. № 12. С. 17–32.
5. Ибрагимов Д.Н. О задаче быстродействия для класса линейных автономных бесконечномерных систем с дискретным временем, ограниченным управлением и вырожденным оператором // *АиТ*. 2019. №3. С.3--25.

## Интерпретация результатов прогноза моделей машинного обучения на основе методов SNAP

Ухов П.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В последнее время методы и алгоритмы машинного обучения все чаще применяются для решения производственных задач. Однако, при производстве высокотехнологичной продукции необходимо интерпретировать решения, принимаемые моделями машинного

обучения в понятном для человека формате, т.к. нередко принятие решений связано с серьезными рисками со стороны производства или безопасности людей.

На практике в производственных системах в качестве исходных данных выступают временные ряды или данные полученные в определенные промежутки времени с производственного оборудования. Для прогнозирования подобных параметров хорошо зарекомендовали себя такие модели машинного обучения и библиотеки, как XGBoost, LightGBM, CatBoost, scikit-learn и ruspark на основе деревьев решений. Указанные модели также могут быть хорошо интерпретированы с применением ряда подходов.

Нами в работе с данными станков с ЧПУ и параметрами авиационных двигателей был применен подход SHAP (SHapley Additive exPlanations). Значения Шепли применяются в экономике, а точнее в теории кооперативных игр. Такие значения назначаются игрокам исходя из их вклада в игру. В сфере машинного обучения идея использования значений Шепли нашла отражение во фреймворке SHAP и соответственной прикладной библиотеке.

В работе рассмотрены подходы для интерпретации результатов прогнозов моделей машинного обучения на основе подхода SHapley Additive exPlanations. Приведены примеры для задач прогнозирования параметров авиационного двигателя и на основе открытых датасетов данных станков с ЧПУ. В качестве датасета использованы данные, предоставленные компанией S7 TechLab и открытые датасеты CNC Mill Tool Wear, CNC turning: roughness, forces and tool wear и CNC Tool Wear.

По итогам выполненной работы была выполнена интерпретация данных моделей на базе XGBoost для определения износа инструмента станков с ЧПУ, что позволяет не только применять модели машинного обучения, но и понимать, как выполняется решение задачи классификации. Указанные результаты могут быть использованы в производственных системах и для построения моделей прескриптивной аналитики

#### **Дополненное аналитическое решение задачи о термонапряженно-деформированном состоянии упругой пластины методом SVPB**

Хоа Ван Донг, Зверьев Е.М., Пыхтин А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Наиболее широкое промышленное применение в настоящее время находят компьютерные реализации решений задач механики, основанные на численных методах. Их совершенствование идет путем включения новых расчетных случаев, решения проблем накопления ошибок, вызванных ограниченной точностью. Несмотря на распространенность инструментов, корректность результатов и их интерпретации во многом определяется человеческим фактором. Пример тому повторимость и сходимости решений при выборе различных сеток. Кроме того, численные реализации являются адаптацией аналитических постановок, включающих особенности принятых ограничивающих гипотез.

Из двух основных постановок задач тонкостенных систем более легкое решение дает двухмерная постановка, основывающаяся на допущении о равновесии осредненных по толщине усилий и моментов. Как в этой, так и в трехмерной постановке, частными являются гипотезы в отношении отдельных компонент напряженно-деформированного состояния. Поиск освобождения от таких ограничений, от противоречий, вызванных упрощениями, представляет собой специальную область исследований. Здесь как эталон выступает трехмерная постановка.

Выбор аналитических способов получения окончательного результата, по сути, не так велик. И значительная часть из них предполагает для получения ответа применение компьютерной техники. Так, например, при использовании рядов или решении системы алгебраических уравнений большой размерности. Возможным недостатком выступает утрата, собственно, аналитичности результата.

В работах [1] и [2] последовательно даны постановка и решение методом Сен-Венана – Пикара – Банаха задачи механического и температурного нагружения тонкой изотропной пластины. В докладе приводятся новые результаты в отношении компонент напряженно-деформированного состояния. Также проведено сопоставление с экспериментом и результатами классических работ [3],[4]. Особенностью полученного решения является

отсутствие гипотез, ограничивающих форму решение и полнотью аналитический характер результата.

Литература:

1. Зверьяев Е.М., Пыхтин А.В., Хоа В.Д. Пространственная задача для прямоугольной упругой пластины // Строительная механика и расчет сооружений. Акционерное общество Научно-исследовательский центр Строительство, 2021. № 4. С. 2–11.

2. Хоа В.Д., Зверьяев Е.М., Пыхтин А.В. Пространственная задача о термонапряженно-деформированном состоянии упругой пластины // Авиация и космонавтика. 2021. С. 470–471.

3. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. М.: Наука, 1966. 636 с.

4. Боли Б., Уэйнер Д. Теория температурных напряжений. Мир, 1964. 512 с.

### **Исследование нелинейных колебаний гамильтоновой системы в случаях двух целых неравных частот**

Холостова О.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматриваются движения близкой к автономной, периодической по времени гамильтоновой системы с двумя степенями свободы в окрестности тривиального равновесия. Система зависит от малого параметра и еще двух параметров, меняющихся в некотором диапазоне. Предполагается, что при нулевом значении малого параметра (автономный случай) для некоторого набора двух других параметров реализуется случай кратного параметрического резонанса, когда одна из частот малых линейных колебаний системы в окрестности равновесия равна двум, а другая единице. Исследуются нелинейные колебания системы в окрестности указанного равновесия для значений параметров вблизи резонансной точки трехмерного пространства параметров. Рассмотрены два варианта структуры слагаемых — функций времени в возмущающей части гамильтониана. Для первого варианта в указанных слагаемых, имеющих по малому параметру четную или нечетную степень  $k$ , содержатся соответственно только четные или только нечетные гармоники до номера  $k$  включительно. Для второго варианта возмущающая часть в слагаемых всех степеней по малому параметру содержит только нечетные гармоники времени. Рассмотрены случаи, когда в автономной системе резонансная точка принадлежит области выполнения достаточных (и одновременно необходимых) или только необходимых (не являющихся достаточными) условий устойчивости тривиального равновесия. Показано, что для первого варианта возмущающей части эти два случая демонстрируют некоторые общие свойства и целый ряд качественных различий в поведении. Для второго варианта в обоих случаях свойства системы качественно схожи.

Проводится нормализация гамильтониана возмущенного движения путем проведения последовательности канонических преобразований. Рассматриваются характерные (модельные) системы первой и второй степеней по малому параметру. Построены границы областей неустойчивости (областей параметрического резонанса), возникающие при наличии в преобразованной линейной системе вторичных резонансов (случаи нулевой частоты и равных частот в преобразованной системе); изучено взаимное расположение найденных областей. Исследованы нелинейные колебания системы в общем случае и в обоих случаях вторичных резонансов. Решен вопрос о существовании, числе и устойчивости (в линейном приближении) резонансных периодических движений системы, аналитических по целым или дробным степеням малого параметра. При помощи методов КАМ-теории описаны условно-периодические движения системы.

В качестве приложения построены новые классы резонансных периодических движений динамически симметричного спутника (твердого тела) в центральном ньютоновском гравитационном поле в окрестности цилиндрической прецессии на слабоэллиптической орбите, а также двойного маятника с переменной (близкой к постоянной) конфигурацией в поле тяжести в окрестности его нижнего вертикального положения. Проведен полный (линейный и нелинейный) анализ устойчивости найденных периодических движений, дана их геометрическая интерпретация.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 19-11-00116) в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете).

Литература:

Kholostova O. V. On Nonlinear Oscillations of a Time-Periodic Hamiltonian System at a 2:1:1 Resonance // Russian Journal of Nonlinear Dynamics, 2022, vol. 18, no. 4, pp. 481–512. DOI: 10.20537/nd221101

### **Метод вычисления границ тени для орбиты космического аппарата**

Хрипунов И.В., Кузнецов А.А., Завьялова Н.А., Негодяев С.С.

МФТИ, г. Долгопрудный, Россия

На сегодняшний день космические аппараты в околоземном пространстве решают разнообразные задачи. Среди этих задач можно выделить задачи связи, навигации, космической геодезии и дистанционного зондирования Земли. Тенденция на увеличение количества космических аппаратов ведет к необходимости их автономного функционирования. В большинстве случаев для автономного планирования и выполнения задач космическому аппарату требуется информация о светотеневой обстановке. Кроме того, информация об областях тени и полутени необходима наземным средствам высокоточного определения орбиты для увеличения точности расчетов.

В настоящей работе авторами предложен алгоритм вычисления границ тени и полутени, а также метод расчета времени движения космического аппарата до точек пересечения полутени с орбитой космического аппарата.

Основу физической модели составляет представление области тени и полутени в виде конусов, сформированных Солнцем и Землей. Точки пересечения конуса с эллиптической орбитой в общем случае задаются уравнением не выше 4 порядка. Авторами получены условия, при которых точки пересечения задаются уравнением 2 порядка и условия, при которых уравнение не имеет решений. Проверка этих условий осуществляется путем анализа коэффициентов исходного уравнения. Далее, в каждом из случаев аналитически находится решение на комплексной плоскости и происходит проверка полученных корней и типизация точек орбиты, которые им сопоставлены. На заключительном этапе с помощью соотношений для орбитального движения рассчитывается время до ближайшей точки вхождения космического аппарата в полутень.

Авторами проведено сравнение численного метода расчета промежутков тени и полутени с предложенным в работе аналитическим методом. Установлено, что предложенный в работе метод менее вычислительно затратный и не уступает по точности численному методу.

### **Приближенный метод синтеза $H$ -infinity управления нелинейными стационарными динамическими системами на полубесконечном промежутке времени**

Яковлева А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В работе рассматривается проблема нахождения  $H$ -infinity управления состоянием нелинейной непрерывной стационарной динамической системы. Задачи и методы нахождения  $H$ -infinity управления составляют основу современной теории управления и регулярно используются для решения разнообразных задач синтеза регуляторов. При применении доказанных в работе достаточных условий оптимальности основной проблемой является нахождение решения нелинейного дифференциального уравнения с частными производными. Для упрощения решения задачи предлагается искать приближенное решение по аналогии с теорией линейных систем, предполагая, что искомое решение определяется решением уравнения Риккати, коэффициенты которого зависят от вектора состояния. Для этого исходная нелинейная динамическая система посредством факторизации преобразуется к структуре, похожей на линейную, с матрицами, зависящими от вектора состояния. Решение уравнения Риккати выбирается с учетом поточечного выполнения условий асимптотической замкнутой системы, образованной объектом и оптимальными управлениями объектом и возмущениями. Предложены пошаговые алгоритмы решения

задач синтеза  $H$ -infinity управления по состоянию и по выходу. Приведены решения модельных примеров. Для решения модельных и прикладных примеров создан программный комплекс, где реализован предложенный алгоритм. Для реализации использовался математический пакет MATLAB.

## 8. Новые материалы и производственные технологии в области авиационной и ракетно-космической техники

### Применение эффекта кавитации в целях повышения эффективности технологического процесса финишной обработки критических сопел

<sup>1</sup>Аверин Н.В., <sup>1</sup>Асаев А.С., <sup>2</sup>Захарова Е.С., <sup>2</sup>Нечушкина В.С.

<sup>1</sup>РГУ имени С.А. Есенина, г. Рязань, Россия

<sup>2</sup>Московский политехнический университет, г. Москва, Россия

Существенная часть процессов отделочной обработки деталей машин со сложным профилем поверхности продолжает выполняться вручную, что отрицательно сказывается на трудоемкости и стабильности процесса.

Примером указанных деталей являются суживающие устройства (критические сопла), применяемые при измерении расхода и количества газов, в том числе при поверке счетчиков расхода. Так, суживающие устройства должны изготавливаться из коррозионно-эрозивно-стойких материалов [1]; поверхность тороидального входа до участка конического расширения должна иметь шероховатость не более  $15 \times 10^{-6} \times d$  [2], где  $d$  – диаметр горловины сопла.

Для сопел с расходом газа 12.5 м<sup>3</sup>/ч, 2.5 м<sup>3</sup>/ч и 1 м<sup>3</sup>/ч необходимо обеспечить шероховатость криволинейной поверхности Ra 0.063, Ra 0.025, Ra 0.016 соответственно. Также, высокие требования предъявляются к точности размеров и соблюдению профиля тора (отклонение не более  $\pm 0,001d$ ).

В связи с большой номенклатурой и невысокой серийностью описываемых деталей, видится экономически нецелесообразным изготовление специального абразивного инструмента на жесткой связке для финишной обработки внутренней криволинейной поверхности. Выполнение ручной доводки также видится нецелесообразным в связи с низкой стабильностью данного процесса, обусловленной человеческим фактором. На основании вышеизложенного предлагается для обработки внутренней поверхности сужающего устройства использовать обработку свободным абразивом.

В.И. Бураковым, А.В. Иванайским и другими опубликован ряд работ [3, 4, 5], в которых рассматриваются различные процессы обработки свободным абразивом, приводится сравнительный анализ методов по универсальности, производительности, технологическим возможностям и другим характеристикам. Из рассмотренных авторами этих работ методов видится возможным применение процессов прокатки сквозь отверстие технологической среды, содержащей абразивные частицы, а также заполнение отверстия технологической средой «жидкость + абразив» с последующим продуцированием эффекта кавитации.

Сравнивая указанные методы, можно установить, что метод обработки свободным абразивом с применением эффекта вибрационной кавитации, по сравнению с методом прокатки, обладает большей универсальностью и производительностью.

В связи с вышеизложенным, для реализации высокоэффективного процесса финишной обработки внутренних поверхностей критических сопел наиболее целесообразным видится использование метода обработки свободным абразивом с применением эффекта вибрационной кавитации.

Литература:

1. ГОСТ 8.586.1-2005. «Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1. Принцип метода измерений и общие требования».

2. ГОСТ Р 8.972-2019. «Расход и количество газа. Методика измерений с помощью критических сопел».

3. Бураков Виктор Иванович. Анализ методов обработки деталей свободным абразивом // ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет». 2017. №35.

4. Иванайский А.В. Исследование качества поверхности деталей машин, подвергаемых финишной обработке с применением эффекта присоединенной кавитации / А.В. Иванайский, А.С. Асаев, Т.А. Асаева // Технология машиностроения. – 2020. – № 3. – С. 35-38. – EDN MGQELM.

5. Исследование процесса отделочной абразивной обработки внутренних поверхностей с применением эффекта вибрационной кавитации / А.С. Асаев, А.В. Иванайский, Н.В. Аверин, Д.И. Волков // Вестник РГАТА имени П.А. Соловьева. – 2021. – № 4(59). – С. 57-62. – EDN BWSHP.

### **Моделирование процесса финишной обработки закрепленным абразивом**

Акиншин Н.В., Бойцов А.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

Процессы финишной обработки закрепленным абразивом (хонингование, суперфиниш) широко применяются для обеспечения точности и шероховатости рабочих поверхностей ответственных деталей двигателей летательных аппаратов (прецизионных пар трения командно-топливной аппаратуры, гидроцилиндров втулок, сферических шарниров и др.), изготавливаемых из чугунов, сплавов цветных металлов, сталей, титановых и никелевых сплавов, металлокерамических твердых сплавов и минералокерамик. Разрабатываются новые области их применения, в частности, для обработки входных и выходных кромок лопаток компрессора.

В качестве входных параметров модели служат твердость обрабатываемого материала, средний размер абразивных зерен, форма зерен, номинальное контактное давление, концентрация абразива в инструменте. Выходными параметрами являются шероховатость обработанной поверхности и удельная производительность процесса.

В результате расчетов получены зависимости шероховатости и удельной производительности от перечисленных параметров.

Установлено, что высотные параметры шероховатости поверхности сложным образом зависят от соотношений твердости обрабатываемого материала, среднего размера и формы абразивного зерна, номинального контактного давления и концентрации абразивного материала.

Увеличение твердости обрабатываемого материала существенно уменьшает высотные параметры шероховатости поверхности обрабатываемого материала. Шероховатость поверхности в меньшей степени изменяется при увеличении твердости обрабатываемого материала свыше 250 HV.

Высотные параметры шероховатости линейно зависят от среднего размера зерна.

Удельная производительность в значительной мере зависит от формы абразивного зерна и твердости обрабатываемой поверхности.

Разработанная модель позволяет прогнозировать шероховатость и удельную производительность при изменении технологических режимов и условий обработки.

### **Перспективы применения аддитивных выжигаемых моделей для производства литых изделий сложной конфигурации**

Алексеев И.Е., Варфоломеев М.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В авиационной промышленности для изготовления фасонных литых изделий сложной конфигурации наибольшее распространение получил метод литья по выплавляемым или выжигаемым моделям (ЛВМ). Достоинства метода дают возможность максимально приблизить отливку к готовой детали, однако для этого требуется изготовление трудоемкой и дорогостоящей пресс-формы для получения выжигаемой модели будущего изделия. В результате увеличивается стоимость и время производственного процесса.

Использование 3D печати метода послойного наплавления пластиковой нити (FDM) для производства опытных выжигаемых моделей значительно упрощает этот процесс и уменьшает его расходы. В результате отсутствует необходимость тратить время на разработку дорогостоящей оснастки и ее изготовление. Кроме того, 3D печать позволяет быстро и эффективно изготавливать выжигаемые модели с высокой точностью и качеством поверхности.

На сегодняшний день в 3D печати FDM методом применяется множество материалов, однако самым эффективным для ЛВМ оказался материал полилактид (PLA). Он является

биоразлагаемым материалом и широко используется в 3D печати. Полилактид обладает высокой степенью точности и детализации, что делает его идеальным для создания геометрически сложных и тонкостенных деталей.

В данной работе представлены результаты исследований и испытаний выжигаемой полилактидной модели детали крыльчатки газотурбинного малогабаритного двигателя. Модель изготавливали на принтере Picaso 3D Designer X, время печати модели составляло 25 часов, температура экструдера 205 °С, а температура стола при печати 85 °С. После печати выжигаемую модель сканировали на оптическом сканере ATOS. Результаты сканирования показали, что отклонение размеров модели составляет от -0,2 мм. до +0,3 мм. и соответствует 5-7 классу точности по ГОСТ 26645-85.

Для изготовления керамической литейной формы на модельный блок последовательно наносили суспензию, состоящую из гидролизованного этилсиликата и пылевидного маршалита, при этом каждый слой обсыпали зернистым кварцевым песком. После нанесения пяти слоев, полилактидную модель из формы выжигали в электрической печи сопротивления при температуре 350 °С в течение часа, затем продували компрессором и прокаливали ее при 1000 °С в течение двух часов. Заливку сплава осуществляли алюминиевым сплавом АК12. Для улучшения жидкотекучести расплава форму предварительно подогрели до 700-750 °С. Температура заливки расплава в форму составляла 750-770 °С. Далее было проведено оптическое сканирование полученной отливки. Результаты сканирования схожи с результатами сканирования модели из полилактида. Отклонения соответствуют ГОСТ 26645-85 и составляют всё тот же 5-7 класс точности.

Таким образом, были успешно проведены испытания полилактида в качестве материала для изготовления выжигаемой модели отливки сложной и тонкостенной по своей конфигурации.

#### **Анализ возможности применения конструкционных сплавов титана с эффектом памяти формы в авиакосмической технике**

Алсаева О.С., Снегирёв А.О., Мамаева Д.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

Сплавам на основе никелида титана присущ эффект памяти формы (ЭПФ), обуславливающий области их применения: различные термомеханические соединения и актуаторы для использования в авиакосмической технике [1]. Существенным недостатком изделий из этих сплавов является высокая стоимость и сложность обработки материала, а также ограничение по верхнему температурному диапазону работоспособности (не выше 120°С) при восстановлении формы [1]. Поэтому в некоторых случаях альтернативой сплавам на основе никелида титана могут послужить сплавы на основе титана, в которых также можно реализовать ЭПФ, но при более высоких температурах. Известно, что в  $\alpha/\beta$  титановых сплавах механически нестабильная  $\beta$ -фаза формируется закалкой от критической температуры, а образующийся при последующей деформации мартенсит испытывает обратное превращение при нагреве выше 100–200°С, что может быть основой для проявления ЭПФ [2].

В настоящей работе исследовали цилиндрические образцы (диаметром 10 мм и высотой 15 мм) промышленных титановых сплавов ВТ16, ВТ23, ВТ22И, закаленных с температур близких к критической и деформированных сжатием на 2–5%. Деформированные образцы нагревали в dilatометре с записью изменения высоты образцов в зависимости от температуры. Скорость нагрева составляла 0,6°С/мин. По изменению высоты образца с учетом его термического расширения определяли температуры начала и конца восстановления формы (Анв и Акв) и величины восстановленной ( $\epsilon_v$ ) и невосстановленной ( $\epsilon_{nv}$ ) деформации. Часть образцов была подвергнута металлографическому и рентгеноструктурному анализам для определения критической температуры в этих сплавах.

Установлено, что в образцах сплава ВТ16 в зависимости от температуры закали и степени наведенной деформации Анв изменяется от 45 до 70°С, Акв – от 207 до 250°С,  $\epsilon_v$  от 0,80 до

1,07 %, а  $\epsilon_{\text{вн}}$  от 1,13 до 3,0 %. Максимальные значения восстановленной деформации достигаются после закалки от критической температуры (740 °С).

В более легированном титановом сплаве BT22II закалка от критической температуры 900°С позволяет достичь  $\epsilon_{\text{вн}}$  равной 2,05% при значительной  $\epsilon_{\text{вн}}$  (до 2%) при  $A_{\text{вн}}=40^{\circ}\text{C}$ , а  $A_{\text{кв}}=230^{\circ}\text{C}$ .

В сплаве BT23 критическая температура составляет 830°С, закалка от которой приводит к  $\epsilon_{\text{вн}}$  равной 1,8%,  $\epsilon_{\text{вн}}=3,2\%$  при  $A_{\text{вн}}=180^{\circ}\text{C}$ , а  $A_{\text{кв}}=300^{\circ}\text{C}$ .

Анализ данных, полученных для промышленных титановых сплавов в сравнении с характеристиками ЭПФ никелида титана, показал возможность использования первых в однократно срабатывающих конструкциях, таких как муфты для сборки трубопроводов, устройства для раскрытия и расстыковки в авиакосмической технике.

Литература:

1. Функциональные материалы с эффектом памяти формы: учеб. пособие / Коллеров М.Ю., Гусев Д.Е., Гуртовая Г.В., Ручина Н.В., Гвоздева О.Н. -М., 2015. -161 с.

2. Титановые сплавы: состав, структура, свойства: справочник / А. А. Ильин, Б.А. Колачев, И.С. Полькин. -Москва: ВИС-МАТИ, 2009. -519 с.: ил., табл.; 24 см.

### **Компьютерный анализ влияния свойств локальных зон сварного соединения и их геометрических характеристик на свойства бака давления**

Арсёнов А.В., Никитина Е.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Искусственные спутники, ракетоносители, авиационная техника являются сложнейшими системами, включающими в том числе сварные узлы. Баки давления относятся к ответственному узлам, к которым предъявляются высокие требования. Возможные дефекты сварных соединений баков давления должны 100% выявляться неразрушающими методами контроля. Поэтому сварные швы баков давления выполняются способами сварки плавлением, причем тонко- и среднетолщинные соединения выполняются дуговой сваркой в защитных газах.

Сварное соединение, полученное сваркой плавлением, включает ряд локальных зон (металл шва, граница сплавления, зона термического влияния), обладающих в различными химическими, структурными и механическими свойствами. Применение импульсно-дуговой сварки позволяет изменять тепловое и динамическое воздействие дуги на сварочную ванну, тем самым регулируя в широких пределах форму, размер и структуру локальных зон сварного соединения.

Для определения формы сварного шва, при которой будут обеспечены минимальные напряжения в локальных зонах шва проведено компьютерное моделирование нагружения сварного бака, изготовленного из высокопрочной среднелегированной стали. Используя данные испытаний [1] локальных зон сварных соединений, были введены поправочные (по отношению к свойствам основного металла) коэффициенты для металла шва, зоны термического влияния (ЗТВ). Прочностной расчёт проводился в программе NX Advanced Simulation для сварных швов различной формы: с углом наклона границы сплавления (и прилегающей к ней наиболее слабой зоны -ЗТВ) относительно поверхности соединяемых деталей: 45°, 60° и 75°.

Проведение компьютерного моделирование позволило определить, что при нагружении бака внутренним давлением 200 атм. наименьшие напряжения в сварном соединении возникают при выполнении швов с углом наклона границы сплавления, равным 75°, наибольшие – в сварных узлах с углом наклона границы сплавления, равным 45° относительно поверхности.

## **Исследование влияния формы деталей на параметры качества и производительность отделочной обработки свободным абразивом с применением эффекта кавитации на примере тракторных поверхностей лопаток ТВД**

Асаев А.С.

РГУ имени С.А. Есенина, г. Рязань, Россия

Повышение производительности и стабилизация параметров качества при реализации процессов отделочной обработки поверхности детали летательных аппаратов, в том числе имеющих сложную пространственную геометрию, являются актуальными задачами машиностроения. К таким деталям относятся рабочие лопатки турбовинтовых двигателей (РЛ ТВД),

Шероховатость тракторных поверхностей рабочих лопаток ТВД (турбинно-вентиляторного двигателя) является критическим параметром в авиационной и аэрокосмической промышленности. Рабочие лопатки ТВД подвергаются интенсивным механическим нагрузкам и высоким температурам, поэтому шероховатость их поверхностей имеет большое значение.

Достижение требуемого качества поверхностей рабочих лопаток ТВД необходимо для обеспечения эффективной работы двигателя, а также для предотвращения повреждений и износа лопаток.

В работе проведено исследование реализации процесса отделочной обработки свободным абразивом с применением эффекта вихревой кавитации тракторных поверхностей лопаток турбовинтовых двигателей после нанесения теплозащитного покрытия. Применение гидродинамических процессов, возникающих в условиях кавитации, способно обеспечить интенсификацию абразивной обработки.

Установлено, что величина съема материала в единицу времени коррелируется с динамикой изменения шероховатости. Максимальная величина съема материала ТЗП около 0,05 мм за 30 минут обработки наблюдается в зоне «спинки» и «пера» РЛ ТВД. Максимальная шероховатость и минимальные параметры абразивного съема материала поверхности около 0,015 мм за 30 минут обработки наблюдаются в зоне основания «корыта». Вместе с тем, обработка периферийной части поверхности «корыта» походит с интенсивностью сопоставимой с выпуклым профилем РЛ.

Модель реализуемого процесса отделочной обработки лопаток ТВД имеет ряд технологических преимуществ: отсутствие вибраций, отсутствие жесткого контакта инструмента и обрабатываемой детали, снижение влияние температурных факторов и другие. Учитывая сопоставимые производительность, стабильность и равномерность обработки поверхности, с применяемыми в настоящее время, можно считать разрабатываемый метод перспективным и высокопроизводительным при реализации процесса отделочной обработки ТЗП лопаток ТВД.

1. Иванайский А.В., Асаев А.С., Асаева Т.А. Технология финишной обработки внутренних поверхностей деталей машин свободным абразивом с применением низкочастотной вибрационной кавитации // *Технология машиностроения*. 2022. № 8. С. 11-13.

2. Asaev, A.S., Frolova, S.V., Glazunov, M.S., Svetov, A.D., Ivanayskiy, A.V. Finishing products from synthetic sapphire with the application of the vortex cavitation effect // *Conference series: AIP Conference Proceeding* this link is disabled. – 2023. – №2700. – Pp 020001-20003. (In English).

## **Математическое моделирование процесса гибки алюминиевого профиля незамкнутого контура на трехвалковой машине**

Батталов Т.Х., Галкин В.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Изготовление деталей из профилей требует высокой точности и качества, так как это необходимо для достижения максимально возможной жесткости формируемой конструкции [1]. Одной из основных проблем при гибке профилей незамкнутого контура является потеря устойчивости полок и стенки, что ведет к неисправимому браку. Для предотвращения данного явления предложен способ [2], при котором в межполочном пространстве

размещается набор тонких стальных полос, играющих роль технологического подпора. Полосы, поверхность которых покрыта смазкой, в процессе гибки смещаются друг относительно друга в тангенциальном направлении. Поэтому технологический подпор деформируется не как монолитное тело. Его деформация разбивается на ряд совмещенных процессов гибки тонких полос. Это позволяет избежать в них появления высоких напряжений и пластических деформаций. Отсутствие пластических деформации позволяет использовать стальные полосы многократно.

В качестве заготовки используется профиль двутаврового сечения из алюминиевого сплава АД33 размерами  $H = 13$  мм,  $B = 18$  мм, толщина стенки  $\delta = 1,5$  мм.

В качестве технологического подпора используются полосы из нержавеющей стали. Толщина полос составляет 0,5; 0,75; 1 мм, межвалковое расстояние (МВР) – 102; 182; 262 мм. Значение смещения  $\Delta H$  подбиралось таким образом, чтобы количество циклов гибки было минимальным, а напряжения в полосах не выходили за пределы упругой деформации. Построена математическая модель процесса гибки в программном комплексе ANSYS, который основан на методе конечных элементов (МКЭ) [3]. Использование ANSYS позволяет оценить напряженно-деформированное состояние профиля и технологического подпора.

В ходе работ установлено, что максимальное влияние на значение деформаций в полосах оказывает их толщина. В рабочей зоне пластические деформации в полосах отсутствуют или незначительны (0,000182 мм/мм). Максимальные напряжения, возникающие в полосах при толщине 1; 0,75, 0,5 мм для стационарного процесса, равны соответственно 115 МПа; 110 МПа; 117 МПа и во всех случаях ниже предела текучести для нержавеющей стали (205 МПа) [4]. Влияние межвалкового расстояния неоднозначно. С одной стороны, его уменьшение ведет к уменьшению непрочатанных участков, то есть к увеличению выхода годного, а с другой, к более высоким напряжениям в полосах. Необходимой кривизны ( $R = 460$  мм) удалось достичь при комбинировании различных параметров без нарушения геометрии профиля. При межвалковом расстоянии 262 мм за 4 прохода, с суммарным смещением среднего валька 19,6 мм. При межвалковом расстоянии 182 мм за 5 проходов со смещением 10 мм. При межвалковом расстоянии 102 мм за 4 прохода со смещением 3,5 мм.

В результате исследования удалось определить рациональные режимы обжатий по проходам, в результате получены профили с заданным радиусом кривизны. Напряжения, возникающие в технологическом подпоре, ниже значения предела текучести для нержавеющей стали.

1. Лысов М. И. Формообразование деталей гибкой. - М.: «Машиностроение», 2001. - 388 с.; ил.

2. В.И. Галкин, А.Р. Палтиевиц, Е.В. Галкин, Е.В. Преображенский, Т.И. Захарова; К ВОПРОСУ ВЫБОРА СПОСОБА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПА СЕГМЕНТ ШПАНГОУТА, «Технология легких сплавов» №1, 2021. с. 60-67.

3. Основы работы в ANSYS 17. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 210 с.: ил. Федорова Н. Н., Вальгер С. А., Данилов М. Н., Захарова Ю. В.

4. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд., доп. И испр. /А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. каширский и др. Под общей ред. А.С. Зубченко – М.: Машиностроение, 2003. 784 с.

### **Исследование влияния скорости кристаллизации на размер зерна в высокомагнитных алюминиевых сплавах с добавлением РЗМ**

Бахтегарев И.Д., Рагазин А.А., Арышенский В.Ю., Арышенский Е.В.

Самарский университет, г. Самара, Россия

Алюминиевые сплавы находят широкое применение в различных отраслях современной промышленности благодаря низкой массе, высокой прочности и коррозионной стойкости. Дополнительно повысить прочность можно двумя способами: за счёт увеличения скорости охлаждения при кристаллизации металла и за счёт добавления переходных элементов, таких как Sc, Zr, Hf и Er. По мере увеличения скорости кристаллизации зародыши твердой фазы формируются быстрее, что является основной причиной процесса измельчения зерен. Целью

работы является изучения влияния скорости кристаллизации в алюминиево-магневых сплавах с содержанием РЗМ на размер зерна.

Было сделано по 10 отливок в стальной и медный кокиль. Содержание Hf и Hf в них варьировалось в диапазонах 0,03–0,16 % вес и 0,05–0,16% вес. Границы данных диапазонов близки к минимальной и максимальной допустимой концентрации данных элементов в сплаве 1590. Такой выбор параметров позволяет сравнить влияние скорости кристаллизации на размер зерна при одной и той же химической композиции. Содержание остальных элементов соответствовало химическому составу сплава 1590.

В качестве шихты использовались: первичный алюминий марки А85, магний первичный марки МГ90, цинк марки Ц1, лигатура марок Al-Mn10, Al-Zr5, Al-Sc2, Al-Er5, Al-Hf2. Загрузка в печь производилась вручную. Литье слитков производилось со скоростями кристаллизации 2-3 °C/сек и 10 °C/сек. Исследование зеренной структуры производили на оптическом микроскопе.

Установлено, что при литье со скоростью кристаллизации 2-3 °C/сек образуются зародыши (интерметаллиды) Al<sub>3</sub>(ПЭ), которые модифицируют зеренную структуру. Увеличение гафния и эрбия существенно модифицирует структуру. При скорости кристаллизации 10 °C/сек переходные элементы не успевают выделиться в виде зародышей, которые являются центрами кристаллизации, и остаются в пересыщенном твердом растворе, из-за чего зёрна более крупные в сравнении с размером зерен после медленной кристаллизации. При увеличении содержания гафния и эрбия до 0,16 вес% происходит максимальное модифицирование литой структуры.

Исследования выполнены при поддержке проекта РНФ № 22-19-00810, <https://rscf.ru/project/22-19-00810/>.

### **Пошаговая технология формования слоистых композитов на основе СЭВА, армированного волокнами СВМПЭ**

Ветохин И.С., Бухаров С.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В последнее время при создании современных полимерных композитов на смену терморезактивным приходят термопластичные матрицы, обеспечивающие неограниченную жизнеспособность полуфабрикатов в виде упрочненных волокнами листовых материалов (ЛУТ), сокращенный цикл формования, расширение номенклатуры способов переработки материалов в изделия, возможность осуществления сварочной сборки узлов и агрегатов, высокую ремонтпригодность изделий, а также утилизации и вторичной переработки отходов производства и выработавших ресурсе изделий. В современном самолето- и автомобилестроении нашли применение ЛУТ на основе полиамида и полиэфирэфиркетона, армированных стеклянными [1] или углеродными волокнами.

Применение термопластичных матриц, армированных волокнами на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, позволит создавать композитные материалы, обладающие относительно высоким уровнем удельных характеристик прочности и деформативности и одновременно высокими показателями трещиностойкости, ударной вязкости при разрушении, абразивной износостойкости, водо- и химостойкости, а также повышенной демпфирующей способностью и триботехническими характеристиками.

Исследования в данном направлении ограничиваются созданием композитов для баллистической защиты и практически не реализовано в современном машиностроении. В МАИ разработаны сверхлегкие органокомпозиты с плотностью 0,93-0,94 г/см<sup>3</sup> на основе ткани из волокон СВМПЭ с саржевым переплетением 6/6 производства АО «ВНИИСВ» и термопластичной матрицы из сополимера этилена с винилацетатом – СЭВА) производства ПАО «Казаньоргсинтез». Были отработаны оптимальные параметры процесса формования образцов композита СЭВА-СВМПЭ методом горячего прессования [2].

В настоящей работе приведены результаты исследования физических процессов серийного изготовления листовых полуфабрикатов-ЛУТов методом пошагового прессования на установке разработанной и изготовленной в МАТИ. в рамках договора с ЦНИИЛК по Программе Союзного государства. Впервые для формования

органокompозитов на основе матрицы СЭВА и армирующих волокон из СВМПЭ был использован двумерный температурный градиент, формируемый специальной конструкцией плит пресса и обеспечивающий высокий уровень монолитизации материала за счет вытеснения воздушных включений от центра к периферии исходного пакета- заготовки ЛУТ. При этом пористость ЛУТ не превышала 1% с разбросом по объему материала не более 1,9 %, а материал обладал высокими удельными показателями физико-механических свойств: удельное разрушающее напряжение при 20°C – 26,14 км; при -20°C – 34,35 км; при -70°C – 40,54 км; модуль упругости при 20°C – 0,74·103 км; при -20°C – 1,66·103 км; при -70°C – 2,95·103 км, что свидетельствует о перспективности разработанных композитов и квазинепрерывной технологии их формирования.

### **Фазовый состав, текстура и упругие свойства сплавов системы Al–Cu–Li**

Гордеева М.И., Прокопенко Д.А., Максименко Е.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Сплавы системы Al-Cu-Li обладают высоким показателям удельной прочности и жесткости могут заменить традиционные алюминиевые сплавы в авиации, поскольку сплавы только этой системы легирования в перспективе могут существенно снизить вес конструкции планера – каждый 1 мас.% лития снижает плотность сплава на 3% и увеличивает модуль Юнга на 5%. Стоит отметить, что алюминий-литиевые сплавы обладают высокой анизотропией свойств, фазовой нестабильностью и формируются высокие остаточные напряжения при сварке и затвердевании слитков, что ограничивает применение данных сплавов в авиационной отрасли. Однако низкая плотность данных сплавов формирует нам задачу разработки сплавов второго поколения. Конкретной целью этих разработок являлось получение сплавов, которые на 8-10% более легких и при этом более жестких по сравнению с традиционными алюминиевыми сплавами путем добавления примерно 2 мас.% лития. Но это приводит к ряду недостатков, таких как тенденция к формированию сильной анизотропии механических свойств, низкой пластичности и вязкости разрушения в коротком поперечном направлении, а также к снижению ударной вязкости вследствие термической нестабильности. В сплавах третьего поколения содержание лития составило 1-1,5%, что несколько повысило плотность, но увеличение содержания меди увеличило количество T1-фазы, что позволило получить высокие удельные показатели прочности, а также жесткости и сопротивления изгибу. Удельная жесткость (E/ρ) важна для нижней обшивки крыльев, лонжеронов, ребер и каркаса, а удельное сопротивление изгибу, (E1/3/ρ), важно для верхней обшивки крыла и фюзеляжа. Для многих компонентов планера самолета важны высокие упругие свойства, что и присутствует Al-Li сплавах. Эти свойства в значительной степени определяются большим количеством интерметаллидов, в основном это фазы T1 (Al2CuLi) и δ'(Al3Li). Но до сих пор неизвестно, какой вклад в уникально высокий модуль упругости сплавов с литием вносит каждая из этих фаз. Подход, предлагаемый нами, основан на методике количественного фазового анализа. Данная методика позволяет оценить количественный вклад каждой интерметаллидной фазы и твердого раствора в характеристики прочности и упругости на основании экспериментальных измерений соответствующих параметров для сплавов, отличающихся соотношением интерметаллидов, т.е. отношением Cu/Li.

Целью настоящей работы является оценка упругих свойств основных интерметаллидных фаз в сплавах системы Al-Cu-Li, которыми являются Al2CuLi (T1-фаза) и Al3Li (δ'-фаза). В качестве материалов использовали листы из сплавов системы Al–Cu–Li 1441, B-1461, B-1469, которые получали прокаткой в ОАО «КУМЗ», (далее – закалка с охл. в холодной воде, правка и одно-, двух- и трехступенчатое искусственное старение. Показано, что в листах формируется текстура типа латуни {110}<112>, которая обуславливает одинаковую анизотропию упругих модулей исследованных сплавов: в поперечном направлении прокатки модуль Юнга имеет максимальное значение, в направлении под углом 45 градусов к направлению прокатки – минимальное. Это соответствует особенностям упругой анизотропии алюминия. С помощью нашей методики фазового анализа определены количественные соотношения фаз δ' (Al3Li) и T1 (Al2CuLi), а также впервые оценены

значения их упругих модулей. Установлено, что усредненная по трем выбранным направлениям (прокатка вдоль, поперек и под углом 45 градусов) величина модуля Юнга пропорциональна суммарному содержанию интерметаллидов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-19-00330).

### **Влияние материала электрода-инструмента на процесс электроэрозионного фрезерования титанового сплава**

Горланов А.А., Бойцов А.Г., Казанцев С.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Задача совершенствования производства авиационной техники и ее двигательных установок решается применением прогрессивных технологий размерной обработки деталей. Одним из них является электроэрозионное фрезерование (ЭЭФ), которое целесообразно применять при изготовлении деталей сложной формы из труднообрабатываемых материалов. Особенностью ЭЭФ является применение стержневых или трубчатых электродов-инструментов, что позволяет обеспечить лучшие условия отвода продуктов разрушения из зоны обработки и возможность обработки сложнопрофильных поверхностей и элементов.

В докладе представлены результаты анализа работ, выполненных в этой области электроэрозионной обработки, и собственных исследований влияния материала электрода-инструмента на его относительный износ, производительность ЭЭФ и состояние поверхностного слоя образцов из титанового сплава.

В качестве материала электродов были выбраны широко применяемые медь, графит, латунь и вольфрам. В качестве обрабатываемого материала были использованы образцы из титанового сплава BT20, широко используемого для изготовления деталей ГТД различного назначения. Электроэрозионное фрезерование выполнялось на станке с ЧПУ ELFA-731. Обработка заключалась в вырезании торцом электрода-инструмента квадратных областей площадью 1 см<sup>2</sup> по схеме «зигзаг». Износ инструмента и производительность определялись взвешиванием образцов и электродов-инструментов до и после обработки на аналитических весах. Объем удаленного материала рассчитывался исходя из его плотности. Шероховатость обработанной поверхности измерялась профилометром.

В ходе исследований установлено, что при помощи медных электродов можно добиться довольно низкой шероховатости поверхности вплоть до значения параметра шероховатости Ra = 0,2 мкм. Графитовые электроды имеют высокое сопротивление электрической эрозии, в то же время его использование для чистовой обработки затруднительно. При помощи латунных электродов можно добиться более высокой производительности в сравнении с медным электродом. Результатом применения вольфрамовых электродов была поверхность с высокой шероховатостью и низким значением скорости удаления материала ввиду его меньшей электро- и теплопроводности.

### **Улучшение теплозащитных свойств углерод-углеродных композитов с использованием низкотемпературных сверхзвуковых гетерогенных потоков**

Григоровский В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В изделиях авиационной и ракетно-космической техники и, в частности, её перспективного направления высокоскоростных летательных аппаратов широко применяются углерод-углеродные композитные материалы. Однако несмотря на неоспоримые плюсы данного материала, изделия с его применением обладают рядом недостатков:

- низкая термостойкость, обусловленная горением углерода при низкой температуре поверхности;
- высокая каталитическая активность, элементы конструкции, изготовленные из углерод-углеродных композитов, обладают высокой окислительной способностью, что существенно увеличивает тепловой поток в элементы конструкции.

Перечисленные характеристики (термостойкость, каталитическая активность) отвечают за надёжность тепловой защиты летательного аппарата при интенсивном аэродинамическом нагреве и в случае разработки ВЛА многократного использования приведённые недостатки не допустимы и должны быть устранены.

Одним из решений поставленной проблемы является использование теплозащитных материалов, способных защитить конструкцию от термохимической коррозии и механической эрозии.

Традиционные методы нанесения теплозащитных материалов обладают рядом недостатков, связанных, прежде всего, с использованием высокотемпературной газовой струи, которой характерна высокая химическая агрессивность при использовании дешевых технических газов (воздух, азот, CO<sub>2</sub>).

В докладе приводится метод позволяющий избавиться от приведённых выше недостатков. Концепция разработанной технологии строится на принципе защиты углерод-углеродных композитов от окисления путём формирования на их поверхности тонких термостойких слоёв, обладающими необходимыми каталитическими и излучательными свойствами.

Литература:

1. Никитин П.В. «Тепловая защита». Учебник высшей школы. М.: Узд. МАИ, 2006, 510с.
2. Никитин П.В., Сотник Е.В. «Катализ и излучение в системах тепловой защиты космических аппаратов». Монография. М.: изд. «Янус-К», 2013, 325с.
3. Сорокин В.А., Копылов А.В., Тихомиров М.А., Стирин Е.А., Логинов А.Н., Федоров Д. Ю., Валу́й П.В. «Построение системы теплозащиты из углеродных композиционных материалов с покрытиями для теплонапряженных конструкций двигателей летательных аппаратов». Электронный журнал «Труды МАИ» №84, 2015г <http://www.mai.ru/science/trudy>
4. Никитин П.В., Шкурятенко А.А. Влияние каталитически активной поверхности на интенсивность конвективного теплообмена. //Электронный журнал «Труды МАИ» №88, 2016г <http://www.mai.ru/science/trudy>
5. Никитин П.В. «Гетерогенные потоки в инновационных технологиях». Монография. М.: изд. «Янус-К», 2010, 243с.

### **Динамическая прочность трехслойных цилиндрических панелей с легким наполнителем при наличии производственных отклонений и эксплуатационных повреждений**

Дедова Д.В., Рабинский Л.Н., Мартиросов М.И.  
МАИ, г. Москва, Россия

Рассматриваются трехслойные панели, представляющие собой элементы авиационных конструкций, состоящие из двух несущих слоев (обшивок), выполненных из полимерных композиционных материалов (ПКМ), связанных между собой слоем наполнителя, разделяющего несущие слои и обеспечивающего их совместную работу. Заполнитель – сотовый по принятой классификации относится к легким.

В силу причин различного характера, связанных с процессом производства и технологией изготовления, а также эксплуатацией, в панелях могут возникать производственные отклонения и дефекты (повреждения), которые оказывают влияние на прочность и несущую способность конструкции в целом. Считается, что в панелях между монослоями обшивок и между обшивками и сотовым наполнителем присутствуют дефекты типа расслоений (возникающие из-за нарушения адгезионных связей) различной формы (эллиптической, круговой, прямоугольной) и размеров. Количество дефектов варьируется. В общем случае рассматриваются дефекты произвольной формы и размеров. При этом границы дефектов аппроксимируются набором прямых.

Рассматриваются сотовые наполнители различных марок: полимеросотопласты марок ПСП-1 (Номекс), ПСП-1К (Кевлар) и стеклосотопласты марки ССП-1. В качестве ПКМ, применяемых в обшивках, изучаются клеевые препреги из стекло- и углеткани типа КМКС и КМКУ с различными схемами укладки монослоев и количеством монослоев. Монослои укладываются по симметричной и смешанной схеме в направлениях 0°, ±45°, 90°.

В качестве внешней нагрузки рассматривается динамическая нагрузка различного характера (ударного, импульсного и т.д.).

Для решения задачи используется метод конечных элементов (МКЭ). Определяется распределение полей напряжений и деформаций в монослоях в различные моменты времени. Вычисляется распределение индекса разрушения по различным критериям ПКМ: Hoffman, DeAlia, Purpo-Evensen, Hashin, Chang-Chang, Puck, LaRC (Langley Research Center). Считается, что разрушений наступает при индексе разрушения равном единице. Дается сравнение полученных результатов для аналогичных трехслойных панелей без дефектов.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-49-00133, выданного Московскому авиационному институту.

### **Порошковые полимерные композиционные материалы на основе имитатора лунного грунта для изготовления строительных элементов на Луне**

<sup>1</sup>Емельянов К.В., <sup>1</sup>Бабаевский П.Г., <sup>1</sup>Козлов Н.А., <sup>2</sup>Бажура А.С.

<sup>1</sup>МАИ, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ПАО «РКК «Энергия», г. Королев, Россия

Колонизация и освоение Луны являются одними из фундаментальных задач, поставленных перед человечеством на ближайшее будущее, подготовкой к решению которых занимаются во многих странах. При этом материалы, необходимые для создания соответствующей инфраструктуры, в том числе долговременных жилых и технических помещений, предполагается производить непосредственно на поверхности Луны при минимизации массы доставляемых с Земли компонентов материалов и энергетических затрат на их получение и формование. В настоящее время наиболее эффективным считается получение материалов на основе местного сырья – тонкодисперсного лунного грунта (реголита) с использованием современных технологий. Наименее материалоемким и энергоэффективным способом решения этой задачи является использование порошкообразных высоконаполненных полимерных композиций (ПВПК), в которых реголит служит дисперсным наполнителем, а порошкообразный термопластичный или термореактивный полимер – связующим (матрицей).

Из-за отсутствия порошков реголита в достаточном количестве поисковые работы по разработке и исследованию состава, способов получения, структуры и свойств таких ПВПК проводятся с использованием специально создаваемых земных аналогов (имитаторов) лунного грунта. Данная работа посвящена получению и исследованию структуры и физико-механических свойств ПВПК на основе имитатора реголита (порошка базальта различного гранулометрического состава) и порошка термопластичного полимера (полиамида-6,  $T_{пл}=215$  оС) при различном их соотношении.

Смеси порошков имитатора лунного грунта четырех фракций (от 40 до 600 мкм) в различном их соотношении и полимера с содержанием от 5 до 15 масс.% получали механическим смешиванием с последующим прессованием пластин прямоугольного сечения (размером 80x10x5 мм) при температуре 240-250 оС под давлением 210 МПа в закрытой пресс-форме.

Характер распределения компонентов и пористость ПВПК после прессования определяли, исследуя поверхности разрушения с помощью сканирующего электронного микроскопе марки JEOL JSM-6060A с рентгеновской приставкой, а определение их деформационно-прочностных свойств при изгибе проводили с использованием разрывной машины WDW-10E. Полученные данные показали, что материалы имеют структуру матричной дисперсии полимер-наполнитель с различным содержанием пор, зависящим от соотношения исходных компонентов и в значительной степени определяющим их физико-механические свойства. Так, с увеличением содержания порошка полиамида-6 от 5 до 15 масс. % пористость уменьшается с 13,4 до 0,73 %. При этом модуль упругости и разрушающее напряжение при изгибе увеличиваются с 376 до 855 МПа и с 1,84 до 5,83 МПа соответственно, а относительная деформация при разрушении снижается от 0,55 до 0,48 %.

## Исследование процесса распыления модельной жидкости методом центробежного распыления

Жуков Е.Ю., Наурзалинов А.С., Пашков И.Н.  
МАИ, г. Москва, Россия

Одним из способов получения мелкодисперсного порошка является центробежное распыление. Данный метод широко используется в промышленности и позволяет получать как мелкие, так и крупные партии порошков. Однако мало информации о параметрах распыления, о поведении струи жидкого металла и конфигурации чаши распыления.

Для определения влияния параметров центробежного распыления, влияющие на размер частиц, был проведен ряд испытаний на модельной жидкости близкой к вязкости расплавленного олова. Отсутствие, толстой пленки на поверхности чаши, вторичное образование струй и преждевременное распыления жидкости считалось некорректным режимом центробежного распыления.

Если рассматривать момент входа жидкости через иглу 0,8 мм то, чем больше расстояние до чаши, тем объем и удар жидкости об чашу больше. От 100 мм до 150 мм наблюдается небольшое преждевременное распыление в моменте входа жидкости на чашу. При изменении шероховатости момент входа на чашу не меняется. На гладкой и без обработки чаши жидкость равномерно распределяется по кругу, присутствует гидравлический скачок. Характер поведения жидкости при изменении давления, рассмотрении чаши с бортами и на несмоленной поверхности не меняется в момент входа жидкости на чашу. При изменении диаметра иглы диаметр жидкости образовавшаяся на чаше становится больше при большем диаметре иглы.

Если рассматривать процесс постоянной подачи жидкости на чашу видно, что, чем меньше расстояние до чаши, тем более равномерный слой образовывается на чаше, однако наблюдаются спирали. На гладкой поверхности жидкость распределяется более равномерно, и пленка становится более тонкой в отличии от чаши без обработки. Характер спиралей и струй сохраняется при изменении давления для этих типов чаш. Если чаше придать механическую шероховатость, то она ухудшает процесс распыления так как виден преждевременный отлет крупных капель. При постоянной подаче жидкости на чашу при диаметре иглы 0,8 мм до 2 атм наблюдаются спирали на поверхности и ведется распыление по траектории этих спиралей. После 2 атм в зоне вхождения струи происходит вторичное распыление в виде направленных ручейков. Если увеличить диаметр иглы, то до 2 атм наблюдаются очень слабая спираль на поверхности и ведется распыление по траектории этих спиралей. После 2 атм спиралей на поверхности нет, а само распыление ведется только через край чаши в виде пленки, которая увеличивается с увеличением давления. При рассмотрении чаши с бортами поведение жидкости остается таким же, однако у бортов за счет вихревых потоков от стенки угол струек увеличивает вплоть до их вылета через борт, а также за счет бортов происходит вторичное распыление струек. Для проведения испытания в режиме не смачивания на чаше предварительно наносили слой синтетического каучука для получения поверхности, которая практически не смачивается. При режиме не смачивания наблюдалось уменьшение количества и размеров спиралей.

Вывод:

1. Характер подачи влияет на процесс распыления модельной жидкости.
2. На гладкой чаше лучше смачиваемость и тоньше пленка, которая образуется на поверхности. Использование шероховатой чаши приводит к нарушению процесса распыления.
3. Использование чаш с бортами приводит к уменьшению толщины пленки.

Литература:

1. Д. А. Труфанов, С. А. Котов, Е. В. Шалашов, В. В. Часов Получение металлических порошков методом центробежного распыления с использованием вращающегося стакана. УДК 621.762 Металлообработка №4(16) Спб: 2016, с. 57-62.

## **Применение планирования экспериментов по методу Тагути для проектирования и изготовления деталей и узлов РКТ методом FDM 3D-печати**

Загидуллин Р.С., Матвеев В.А., Шохов П.А.

Самарский университет, г. Самара, Россия

FDM (Fused Deposition Modeling) 3D-печать позволяет изготавливать детали и узлы практически любой геометрической формы, использовать ячеистую структуру, исключить технологическую оснастку, минимизировать человеческое воздействие в процесс изготовления и т.д. Применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) для FDM 3D-печати позволяет снизить массу с соблюдением требований по прочности и жёсткости. В качестве ПКМ могут быть применены полимерные материалы, дисперсионно упрочнённые угле- и стекло волокном. Например, полиамид 12 (PA12) с добавлением стекловолокна с массовой долей 12% (GF12): PA12+GF12 [1].

Однако, кроме достоинств использования FDM 3D-печати ПКМ возникают и трудности:

1) при каждом технологическом режиме FDM 3D-печати значения показателей механических свойств напечатанных деталей отличаются. Возникает необходимость определить комбинацию технологических параметров печати, которая обеспечит робастные максимальные значения показателей механических свойств;

2) в программах-слайсерах для предпечатной подготовки заложены разные виды заполнения (ячеистой структуры), которые можно задать с разной плотностью для FDM 3D-печати. Возникает необходимость определить вид и степень заполнения, которые обеспечат оптимальное сочетание массы и прочности напечатанных деталей и узлов.

Для определения робастной комбинации технологических параметров печати, вида и степени заполнения предложено использования робастного планирования экспериментов по методу Тагути.

Особенности планирования экспериментов по методу Тагути заключаются в ограничении только ортогональными планами, по возможности без эффектов взаимодействия. Метод Тагути использует насыщенные или близкие к насыщенным планы, а при обработке результатов эксперимента предпочтение отдается дисперсионному анализу [2].

Применение робастного планирования экспериментов по методу Тагути на этапах проектирования и изготовления продукции позволяет определить оптимальную конструкцию и значения технологических параметров печати, которые обеспечат робастность напечатанных деталей и узлов.

Литература:

1. Загидуллин Р.С., Жуков В.Д., Родионов Н.В. Экспериментальное исследование вариабельности диаметра прутка специального филамента // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 5. С 228-234.

2. ГОСТ Р ИСО 16336-2020 Статистические методы. Применение к новым технологиям и процессу разработки продукции. Робастное параметрическое проектирование (RPD). М.: Стандартинформ. 2020. 70 с.

## **Разработка режима упрочняющей термической обработки прутков из титанового сплава ВТ6**

Заиров А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Титановые сплавы в настоящее время всё чаще применяются в медицинской промышленности. В частности, они стали основными конструкционными материалами, из которых изготавливаются имплантаты и хирургический инструмент, вытеснив из этой области медицинские нержавеющие стали и кобальтхромовые сплавы.

Наибольшее распространение при изготовлении имплантатов имеет сплав ВТ6, сочетающий удовлетворительные механические свойства и хорошую биологическую совместимость с тканями человеческого организма. Объясняется такая хорошая биологическая совместимость существованием на поверхности деталей, изготовленных из титановых сплавов, оксидной плёнки, которая обеспечивает их хорошую коррозионную стойкость. В то же время в процессе эксплуатации имплантатов эта оксидная плёнка

разрушается из-за возникающих механических контактных напряжений. Из-за разрушения оксидной плёнки возникает проблема низкой износостойкости титановых сплавов, что затрудняет их применение в парах трения.

Эта проблема особенно актуальна при изготовлении из сплава ВТ6 шаровых головок эндопротеза тазобедренного сустава. Для повышения поверхностной прочности и, как следствие, износостойкости шаровых головок применяется вакуумное ионно-плазменное азотирование. Для проведения этого процесса необходимо повысить твёрдость сплава ВТ6, из которого изготовлены головки, до 35-39 единиц HRC. Это возможно сделать с помощью термоводородной обработки, однако в данном исследовании предлагается использовать упрочняющую термическую обработку, как более дешёвую и технологичную альтернативу.

На первом этапе работы образцы из сплава ВТ6 закалялись в воде в интервале температур 930-1000°C с шагом 10°C. Затем проводилась изотермическая обработка по следующим режимам: 550°C (выдержка 5 ч.), 580°C (выдержка 4 ч.), 600°C (выдержка 3 ч.), 620°C (выдержка 3 ч.), 640°C (выдержка 2 ч.). Охлаждение проводилось на воздухе.

На втором этапе работы образцы из сплава ВТ6 закалялись на воздухе в интервале температур 940-1020°C с шагом 20°C. Затем проводилась изотермическая обработка по следующим режимам: 550°C (выдержка 5 ч.), 580°C (выдержка 3 ч.), 620°C (выдержка 1 ч.). Охлаждение проводилось на воздухе.

Твёрдость закалённых и прошедших упрочняющую термическую обработку образцов была измерена методом Роквелла. На основании полученных данных были построены графики зависимости твёрдости от температур нагрева под закалку, а также зависимости твёрдости после изотермической обработки от твёрдости после закалки. Эти графики позволяют на практике определять режим упрочняющей термической обработки прутков из сплава ВТ6 для получения необходимой для изготовления шаровых головок твёрдости.

Литература:

1. Ильин А.А., Федирко В.Н., Мамонов А.М., Сарычев С.М., Чернышова Ю.В. Влияние комплексных технологий обработки на структурное состояние поверхности и эксплуатационные свойства медицинских имплантатов из титанового сплава ВТ6 // Титан. 2014. № 4. С. 4-11.
2. Ильин А.А., Колачев Б.А., Польшкин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник. М.: ВИЛС - МАТИ, 2009. 520 с.

### **Повышение механических свойств сплава 1570 легированного гафнием после холодной прокатки**

Зорин И.А., Дриц А.М.

Самарский университет, г. Самара, Россия

Сплавы Al-Mg-Sc находят широкое применение в авиации, автомобилестроении и судостроении, поскольку они прочны, устойчивы к коррозии и легко поддаются сварке. 1570, принадлежащий к системе Al-Mg-Sc, является одним из самых используемых сплавов. Он находит широкое применение в авиации и ракетно-космической технике. Однако сплавов данной системы имеются недостатки: они обладают низкой термостойкостью при высоких температурах, что ограничивает их использование при больших нагрузках и высоких температурах. Одним из способов повышения их термостабильности является легирование гафнием, который образует защитную оболочку, предотвращает рост и коагуляцию частиц Al<sub>3</sub>Sc. Существует ряд статей, направленных на изучение влияния гафния на сплав 1570 в литом и гомогенизированном состояниях, но отсутствуют результаты исследований после термомеханической обработки. Целью данной работы является изучение влияния гафния на механические и физические характеристики сплава 1570 после термической и термомеханической обработки.

Для изучения данного вопроса были отлиты сплавы 1570 и его аналог с добавкой гафния 0,2% масс. (1570-0,2Hf). В процессе исследования были проведены испытания на микротвёрдость, механические свойства, а также использовались данные, полученные с помощью, сканирующей и просвечивающей электронных микроскопий, атомно-зондовой томографии.

ПЭМ-исследования сплава 1570—0,2Hf в гомогенизированном состоянии показали, что присутствие добавок гафния приводит к появлению мелкодисперсной фазы со средним размером частиц 7,2 нм. Эти частицы имеют меньшие размеры и площадь поверхности по сравнению с исходным сплавом 1570, в котором отсутствуют гафниевые добавки. Это явление можно объяснить ингибирующим действием гафния на рост частиц, когда они достигают размера 5 нм. После холодной прокатки оба сплава демонстрируют сопоставимые уровни прочностных свойств, главным образом из-за меньшего размера упрочняющих частиц в сплаве 1570 с добавками гафния, хотя общая площадь этих частиц в сплаве 1570 немного больше. Примечательно, что отжиг при 340°C демонстрирует выраженный термостабилизирующий эффект гафния. Сплав, содержащий гафний, имеет предел текучести на 50 МПа выше, чем у базового сплава 1570. Однако термостабилизирующий эффект уменьшается при отжиге при 440°C.

Вышеупомянутые результаты открывают новые возможности для разработки сложных материалов, обладающих исключительной прочностью и долговечностью в условиях повышенных температур.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22–29–01506, <https://rscf.ru/project/22-29-01506/>

Литература:

1. Давыдов В.Г., Елагин В.И., Захаров В.В., Ростова Т.Д. О легировании алюминиевых сплавами добавками скандия и циркония // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1996. №. 8. С. 25-30.

2. Бронз А.В., Ефремов. В.И., Плотников А.Д., Чернявский А.Г. Сплав 1570С – материал для герметичных конструкций перспективных многофазовых изделий РКК «Энергия» // *Космическая техника и технологии*. 2014. №. 4. С. 62-67.

3. Зорин И.А., Арышенский Е.В., Дриц А.М., Коновалов С.В., Комаров В.С. Влияние гафния на литую микроструктуру в сплаве 1570 // *Известия вузов. Цветная металлургия*. 2023; 29 (1): 56–65.

4. Дриц А.М., Арышенский Е.В., Кудрявцев Е.А., Зорин И.А., Коновалов С. В. Исследование распада пересыщенного твердого раствора в высокомагниевого алюминиевых сплавах со скандием, легированных гафнием // *Frontier Materials & Technologies*. 2022. № 4. С. 38-48.

### **Теоретическое и экспериментальное обоснование влияния технологии аддитивного производства на теплофизические свойства деталей из алюминиевого сплава AlSi10Mg**

Киселев В.П., Ежов А.Д., Быков Л.В., Котович И.В., Талалаева П.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Аддитивные технологии широко применяются в современной аэрокосмической технике для производства металлических деталей. Это обусловлено несколькими факторами. Во-первых, аддитивные технологии позволяют производить детали штучно или небольшими партиями. Во-вторых, аддитивные технологии имеют высокий коэффициент использования материала и позволяют изготавливать менее материалоемкие конструкции. В-третьих, аддитивные технологии позволяют создавать детали сложных геометрических форм, включая внутренние полости, сетчатые структуры и специальный рельеф поверхности, что позволяет уменьшить массу изделия и достичь оптимальных прочностных свойств.

Алюминиевый сплав AlSi10Mg является перспективным материалом для создания изделий методом селективного лазерного сплавления (СЛС) в различных отраслях, включая авиационную, космическую и энергетическую промышленности, благодаря своим механическим свойствам, коррозионной стойкости и возможности обработки. Однако, при использовании СЛС имеет место анизотропия получившегося материала из-за особенностей процесса, а также могут возникать дефекты, такие как пористость, которые могут негативно повлиять на механические свойства изделий. Исследования показали, что свойства изделий из сплава AlSi10Mg зависят от направления изготовления, температуры предварительного нагрева и окружающей среды, скорости сканирования и плотности подводимой энергии.

Из литературы известно, что микроструктура изделия непостоянна по высоте построения над подложкой. Это связано с тем, что на форму и размер зерен влияет интенсивность отвода тепла от ванны расплава. Пористости, в свою очередь, зависит от плотности подводимой энергии лазерного или электронного луча. При низком значении плотности энергии, что может быть вызвано недостаточной мощностью излучателя, высокой скоростью сканирования или большим диаметром луча, происходит неполное расплавление частиц порошка и образование пор.

Таким образом, ставится задача исследовать образцы сплава AlSi10Mg, полученные методом СЛС. Планируется исследовать теплопроводность образцов в направлении построения и перпендикулярном ему, а также их микроструктуру. Помимо этого, с целью исследования влияния расстояния от подложки при построении на свойства материала, планируется исследовать теплопроводность и микроструктуру нижней, средней и верхней областей образцов. Также в целях уточнения экспериментальных данных о теплопроводности будет поведено исследование удельной электропроводности в тех же областях образцов и направлениях, что позволит уточнить природу анизотропии тепло- и электропроводности. Ожидается обнаружение зависимости анизотропии тепло- и электропроводности от микроструктуры, и, соответственно, особенностей построения образцов методом СЛС.

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

2. Токарев М.С. и др. Методы аддитивного производства заготовок из магниевых сплавов (обзор) // Труды ВИАМ, № 6 (100), 2021.

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

4. Магеррамова Л.А. и др. Перспективы применения аддитивных технологий для создания деталей и узлов авиационных газотурбинных двигателей и прямоточных воздушно-реактивных двигателей // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение, Т. 18, № 3, 2019. С. 83-98.

### **Получение быстроотверждаемых фталонитрильных сотовых конструкций с температурой эксплуатации 300°C методом термокомпрессионного формования**

Кондратьев В.Н.

АО «ИНУМиТ», г. Москва, Россия

Одним из наиболее популярных материалов в авиакосмической отрасли является сотовый наполнитель. Данный материал представляет из себя тонкостенную пространственную структуру, состоящую из множества ячеек правильной формы (как правило шестигранной), которая обладает исключительной жесткостью и легкостью, а также обеспечивает распределение нагрузки между облицовочными панелями. Сотовые конструкции из полимерных композиционных материалов обладают рядом преимуществ перед монолитными панелями: большая удельная прочность и высокая жесткость при продольном сжатии.

Выбор армирующего наполнителя и матрицы для сотового наполнителя обусловлен температурным применением. Как правило, в авиации, если температура применения не превышает 180 °С используются фенолформальдегидные смолы и специальная арамидная бумага.

Для изготовления высокотемпературных сотовых конструкций с температурой эксплуатации 250 – 350 °С, в качестве армирующего наполнителя используются стекло- или угле- ткани, а в качестве матрицы полиимидные или цианэфирные связующие. Наиболее распространенные связующие для изготовления сот являются полиимидные PMR-15 за рубежом и СП-97С, однако одним из недостатков данных связующих является низкая технологичность и высокое газовыделение в ходе отверждения.

Перспективным высокотемпературным классом связующих являются фталонитрилы с температурой стеклования, превышающей 450°C, что позволяет длительно эксплуатировать изделия свыше 300°C. Для сокращения цикла формования сотого наполнителя

использовались быстротверждаемые фталонитрильные растворные составы на основе новолачного олигомера, которые позволяют проводить отверждение при температуре 220 °С в течение 10 мин. Однако применение новолача в качестве отвердителя снижает термоокислительную стабильность матрицы. В ходе работы исследовано влияние моно- и дифункциональных отвердителей допированных фтором в целях увеличения термоокислительной стабильности матрицы. Изготовлена композиционная оснастка для получения гофролент с последующим получением сотопанелей и сотоблоков на основе растворного фталонитрильного связующего.

### **Устойчивость стержней из композиционных материалов с вискеризованными волокнами**

Кривень Г.И., Орехов А.А., Шавелкин Д.С.  
МАИ, г. Москва, Россия

При сжатии стержней из композиционного слоистого материала реализуются следующие механизмы потери устойчивости: 1) выпучивание образца как целого (по Эйлеру), 2) отслоение и выщелкивание слоя характерной толщины, 3) расщепление на несколько частей с выпучиванием образовавшихся слоев. В этой работе рассматривается потеря устойчивости по Эйлеру стержней из слоистого композиционного материала, слои которых образованы вискеризованными волокнами с двумя простыми схемами укладки: 1) волокна во всех слоях уложены вдоль стержня, 2) волокна во всех слоях уложены поперек стержня. Исследование проводится путем моделирования стержней методом конечных элементов (МКЭ) в среде Femap with NX Nastran элементами Laminate толщиной 0,25 мм. Стержни с прямоугольным поперечным сечением размером 1 мм x 10 мм и длиной 60 мм нагружались единичной нагрузкой. Элементарная композитная ячейка состояла из трех фаз – углеродного волокна, вискеризованного межфазного слоя и эпоксидной матрицы. Такой материал обладает трансверсально-изотропными свойствами с плоскостью изотропии поперек волокна. Вискеризованный межфазный слой был образован углеродными нанотрубками, выращенными перпендикулярно поверхности волокна и эпоксидной матрицы. Свойства межфазного слоя являются трансверсально-изотропными с плоскостью изотропии поперек оси вискерса. Эффективные свойства элементарной композитной ячейки, необходимые для моделирования слоистого композитного стержня МКЭ, определялись в два этапа с использованием метода трех фаз [1]. На первом этапе определялись эффективные свойства вискеризованного межфазного слоя, а на втором этапе определялись эффективные свойства всей элементарной ячейки [2]. Объемное содержание включения (волокна с вискеризованным слоем) в связующем варьировалось за счет изменения длины вискерсов.

В работе оценивалось влияние укладки армирующего волокна с вискеризованными волокнами и влияние объемного содержания включения на значение критической силы потери устойчивости при нагружении осевой силой. Полученные результаты сравнивались с результатами, полученным для аналогичного слоистого композиционного материала с немодифицированными волокнами с тем же объемным содержанием включения.

Однако, необходимо отметить, что анализ потери устойчивости композиционных материалов по Эйлеру должен сопровождаться исследованием напряжений в компонентах (фазах) композитной ячейки, так как композитные стержни могут начать разрушаться до потери устойчивости, если напряжения в фазах достигают предельных сжимающих напряжений материала [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-3607.2022.1.1.

1. Кристенсен Р.М. Введение в механику композитов. - М.: Мир, 1982. – 334 с.
2. Лурье С.А., Кривень Г.И., Рабинский Л.Н. О прочности модифицированного композита с вискеризованными волокнами // Композиты и наноструктуры. 2019. Т. 11. № 1. С. 1-15.
3. Vasiliev V.V., Morozov E.V. Advanced mechanics of composite materials and structures. – A.: Elsevier, 2018. - 856 p.

## **Разработка методики оценки свойств бензоксазиновых полимеров**

Кузмич А.А., Сиротин И.С.

РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия

На сегодняшний день актуален интерес аэрокосмической промышленности к материалам, сохраняющим свои свойства в условиях экстремальных значений внешних воздействующих факторов, в частности – воздействия высоких температур и открытого огня.

Одним из перспективных, но пока что не широкоизученным классом термореактивных связующих для полимерных композиционных материалов, являются бензоксазины, которые под действием температуры переходят в неплавкое состояние без выделения низкомолекулярных соединений. Характерной особенностью строения молекулы бензоксазина является оксазиновое кольцо (гетероциклическое шестичленное кольцо с атомами кислорода и азота), присоединенное к бензолному кольцу.

Распространенным подходом к синтезу указанных соединений является модификация уже имеющегося бензоксазина органо-неорганическими полифункциональными фрагментами, которые в свою очередь понижают горючесть, повышают тепло- и термостойкость. Отличительной особенностью полученных автором соединений является прямой синтез, в результате которого происходит непосредственное образование мономера с вышеуказанными фрагментами.

Кроме того, бензоксазины обладают высокими термомеханическими характеристиками. Однако, что характерно для всех полимерных материалов, определяющее значение на свойства конечного продукта оказывает технология синтеза и режим отверждения образца. В связи с этим актуальной проблемой является разработки методики оценки свойств конечного продукта в интересах применения синтезированных соединений как основы для перспективных материалов аэрокосмической промышленности.

1. Krishnadevi K., Selvaraj V. *New J. Chem // Development of halogen-free flame retardant phosphazene and rice husk ash incorporated benzoxazine blended epoxy composites for microelectronic applications.* 2015. Vol. 39, № 8. P. 6555–6567.

2. Ishida H., Agag T. *Handbook of benzoxazine resins.* Elsevier, 2011.

## **Влияние структурно-модифицированных полимерных матриц на процессы теплопереноса в волокнистоармированных углекомпозиатах перспективных систем жидкостного охлаждения**

Махотин И.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

В связи с появлением высокомоощных серверов в приборных отсеках авиационной, ракетно-космической техники, наземных центрах связи и управления полетом летательных аппаратов, машинных залах современных вычислительных центров возросла удельная тепловая нагрузка, снижающая их работоспособность, длительность эксплуатации и надежность результатов расчетов. Все электронные компоненты при работе рассеивают большое количество тепла, и, как правило, чем быстрее они обрабатывают информацию, тем больше тепла они выделяют. Работа при высоких температурах может привести к колебаниям мощности и сбоям, которые являются причиной различных ошибок в компьютерных и электронных системах. Без контролируемого охлаждения, целостность данных вычислительной и электронной системы неизбежно будет повреждена. В данный момент промышленная IT-сфера все чаще сталкивается с проблемой перегрева серверного оборудования при использовании воздушной системы охлаждения. Однако на сегодняшний день существует более эффективная, но менее распространенная альтернатива воздуху – жидкостное охлаждение серверов.

Разработка системы жидкостного охлаждения серверов с применением полимерных композитов позволит повысить эффективность и долговечность работы вычислительного оборудования, снизить вес бортового оборудования и капитальные затраты на строительство центров обработки данных.

Для решения поставленной задачи предлагается система затопленного охлаждения сервера. При таком методе охлаждения, теплота от работы сервера будет отводиться при

непосредственном контакте теплопроизводящих компонентов сервера с однофазной диэлектрической жидкостью. Диэлектрик циркулирует в корпусе сервера, поглощает тепло и выходит из серверного корпуса к общему теплообменнику. Применение полимерных композитов в изготовлении серверных корпусов позволит увеличить площадь теплообмена наиболее нагруженных компонентов, за счет создания полой структуры внутри серверного корпуса и подачи туда охлаждающего диэлектрика.

### **Получение порошков системы $ZrO_2 - Al_2O_3$ методом индукционного плавления в холодном тигле**

Митрофанов А.Л., Лозован А.А., Рыбаков Е.М.  
МАИ, г. Москва, Россия

На сегодняшний день актуальной задачей остается разработка жаростойкого покрытия, работоспособного при термоциклическом нагружении до 1500 °С. Особенностью подобного покрытия является многослойная структура, обеспечивающая градиентный переход состава с учётом КЛТР от материала к рабочему слою. Теплозащитным слоем, как правило является диоксид циркония ( $ZrO_2$ ), стабилизированный оксидами редкоземельных и щелочных металлов.

В целях повышения термоциклических характеристик необходимо разработать состав теплозащитного слоя стойкий к окислению и близкими КЛТР.

Для решения данной задачи был выбран гибридный состав системы  $ZrO_2(CaO) - Al_2O_3$ , из-за высокой окислительной стойкости оксида алюминия и высоких рабочих температур стабилизированного оксида циркония.

Синтез выбранной системы осуществляли методом индукционного переплава в «холодном» тигле, который обеспечивает высокую чистоту продуктов и возможность сплавления веществ при температуре выше 2700 °С [1].

Ранее в работе [2] проводили эксперимент по получению сплава системы  $ZrO_2(CaO) - Al_2O_3$  с последующим напылением, который показал наличие равномерного распределения элементов в покрытии, но при этом наблюдался многофазовый состав.

В данной работе был проведен эксперимент по получению сплава в другом соотношении компонентов порошковой смеси. Определена текучесть и насыпная плотность полученных порошков, а также представлены результаты химического и фазового составов.

Проведенный анализ и сравнение полученных результатов показали, что необходимо закладывать потери  $Al_2O_3$ , вследствие более низкой температуры плавления в сравнении с другими оксидами входящими в состав системы.

В полученных порошках наблюдается только 4 фазы, в отличии от 6 предыдущего состава. Выделено большое количество  $m-ZrO_2$ , которое связано с отделением  $CaO$  от  $ZrO_2$  при достижении расплава и вступлением в реакцию с  $Al_2O_3$  с образованием стабильного соединения гексаалюмината кальция ( $CaAl_2O_9$ ).

В результате даже имея столь большое количество  $m-ZrO_2$ , полученный состав имеет стабильные фазы, которые после напыления и нагрева не должен претерпевать катастрофических изменений по фазовым переходам, как это было с предыдущим экспериментом [2].

Данная работа подтвердила, что при переплаве стабилизатор на основе кальция соединяется с оксидом алюминия, увеличивая количество фазы  $CaAl_2O_9$ , вследствие чего повышается содержание моноклинной фазы диоксида циркония.

В дальнейшем планируется провести эксперимент по получению системы  $ZrO_2-Al_2O_3$  в точке эвтектики для достижения расплава с минимальной потерей  $Al_2O_3$ . Возможно, стоит рассмотреть тройную систему  $ZrO_2-Al_2O_3-CaO$ , в таком соотношении, чтобы  $CaO$  равномерно распределялся на  $Al_2O_3$  и  $ZrO_2$  с образованием стабильных соединений. Так же стоит рассмотреть другие методы получения порошков, где  $CaO$  не будет отделяться как стабилизатор.

Литература:

1. Митрофанов А.Л., Ленковец А.С. Анализ технологий получения порошков оксидов для применения в жаростойких покрытиях. // Быстрозакаленные материалы и покрытия. -2021. Т. 18, № 5. С. 362 - 366.

2. Митрофанов А.Л., Ленковец А.С., Лозован А.А., Иванов Н.А. Плазменное нанесение покрытий на основе порошков системы  $ZrO_2 - Al_2O_3$ , полученных методом высокочастотного переплава. // Вакуумная техника и технологии – 2022. Т. 29. С. 236 – 239.

### **Исследование объемной структуры и свойств пористого покрытия из титанового сплава, сформированного на основе неорганического связующего**

Митрофанова А.Р., Ельцова А.А., Шураков М.А., Тевс М.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

Титан и титановые сплавы благодаря хорошей коррозионной стойкости, отсутствию аллергических реакций при взаимодействии с организмом человека, низкому модулю упругости и высокой удельной прочности являются наиболее перспективными материалами для изготовления медицинских имплантатов, в частности эндопротезов крупных суставов. Самый распространенный вид эндопротезирования крупных суставов — это тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава.

Установка эндопротеза с бесцементным типом фиксации осуществляется по типу *press-fit*, при которой первичная фиксация заключается в его плотной посадке в костномозговой канал, а вторичная фиксация происходит за счёт остеоинтеграции в него костных структур. Для этого поверхность имплантата имеет открытые разветвлённые поры. Открытая пористость и размеры пор в покрытии должны быть сопоставимы с размерами трабекул с питанием костной структуры. Анализ литературы показал, что предпочтительный средний размер открытых пор должен составлять 50 - 500 мкм при объёмной пористости 40 - 80 % для обеспечения хорошей остеоинтеграции костных структур.

Объектами исследования служили титановые полуфабрикаты: лист толщиной 1,8 мм для из сплава ВТ6, гранулы размером 200 – 400 мкм из сплава ВТ1-0 и порошок из ПТК-1 с размером фракций 500 – 1000 мкм. Связующим выступал литейевой воск двух марок, различающийся температурой плавления. Исследование проведено с использованием оборудования ресурсного центра коллективного пользования «Авиационно-космические материалы и технологии» МАИ.

Технология формирования пористого покрытия включала: предварительную подготовку поверхности основы путем пескоструйной обработки для увеличения шероховатости поверхности, нанесение слоя гранул и слоя порошка, временная фиксация которых осуществлялась на воск. И вакуумный отжиг при температуре 1150°C в течение 60 минут под нагрузкой в 1,8 кг для усиления развития физико-химического контакта как между основой и покрытием, так и между компонентами покрытия.

Установлено, что пористое покрытие, сформированное с использованием неорганического связующего, имеет развитую поверхность с объёмной открытой пористостью порядка 25% и размерами открытых пор шириной 150 мкм и глубиной 450 мкм. Показано, что на границе контакта «покрытие - гранулы - порошок» наблюдается плавный переход структуры сплава покрытия в структуру сплава пластины ВТ6 с образованием общих зёрен и адгезионной прочностью 112 МПа, удовлетворяющей требованиям ISO. Сформированное покрытие по критерию остеоинтеграции не дотягивает до идеала, попадая только предпочтительный интервалу, однако имеет потенциал к улучшению параметров остеоинтеграции, так как технология находится на начальном этапе исследований.

Литература:

А.П. Середа. Эндопротезирование тазобедренного сустава. Ответы на все вопросы / – Москва: Изд-во «Гранат», 2014. – 121 с.

## Оценка эффективности введения антифрикционных наполнителей в смазочные масла

Мишаков С.Ю., Хопин П.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Проведены сравнительные трибоиспытания износостойкости металлических контртел в паре трения «скрещенные цилиндры» для заданных составов жидких масел, в том числе с включением графена. В ходе эксперимента установлено, что при добавлении к маслам мультислойных графеновых чешуек (далее «графен»), полученных путём эксфолиации активированного мелкодисперсного графита в количестве от 0,01% до 0,2% по массе, можно существенно повысить износостойкость рассматриваемых фрикционных сопряжений. Трибологические свойства пар трения, смазываемых гомогенизированным масляным составом, были протестированы с использованием установки для испытания смазочных материалов в режиме граничного трения (схема трения «скрещенные цилиндры»). Определяющими параметрами в исследовании были размеры зоны износа, и весовой износ образцов. Образцы Ø14 мм и длиной 14 мм изготавливались из стали ШХ15 с твёрдостью 58 – 65 HRC, а контролбразцы Ø25 мм из стали 20Х2Н4А с твёрдостью 60 HRC. Условия испытаний задавались в соответствии с DIN 51347 с учётом конструктивных особенностей используемой установки. Нагрузка в контакте составила  $N = 400 \pm 10$  Н. Частота вращения  $n = 500$  об/мин. Скорость скольжения в точке контакта  $V = 1,05$  м/с. Время испытания составляло  $30 \pm 1,5$  секунд. Результаты показали, что оптимальное содержание графена в масле MC-20 для достижения наименьшего весового износа составляет 0,05% по массе. Весовой износ образца при оптимальном масляном составе (MC-20 + 0,05% графена по массе), по сравнению с чистым маслом без присадок, снизился на 36,7%. Таким образом, применение графеновых присадок в составе смазочных масел может представлять собой одно из перспективных направлений развития в области технологий новых смазочных материалов.

## Экспериментальная оценка трибологических свойств модифицированных Al-Cu-Fe квазикристаллами МДО-покрытий, сформированных на алюминиевом сплаве В95

Морозов А.В.

ИПМех РАН, г. Москва, Россия

В данной работе МДО-покрытия были получены методом микродугового оксидирования алюминиевой подложки из сплава В95. Для модификации создаваемых покрытий базовый электролит (2 г/л KOH + 9 г/л  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  + 6 г/л  $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$ ) наполнялся квазикристаллами (Al (45,42 мас.ч.) - Cu (32,9 мас.ч.) - Fe (21,68 мас.ч.) в разной концентрации, а именно: 5, 10 и 15 г/л. Образцы диски с нанесенным МДО-покрытием имели диаметр 24 мм и толщину 8 мм, а толщина МДО покрытия составляла в среднем 100 нм. В деталях процесс формирования МДО-покрытий с разной концентрацией квазикристаллов описан в работе [1].

Трибологические свойства МДО-покрытий определялись по схеме контакта шар-диск согласно стандарту ASTM G99 на UMT-3 трибометре (CETR (Td Bruker), США). Шар диаметром 10 мм из карбида вольфрама (твёрдость HRC = 72) прижимался с постоянной нагрузкой  $P = 10$  Н к вращающемуся со скоростью  $V = 0,2$  м/с образцу диска. Радиус дорожки трения составлял  $R = 9$  мм, а путь трения  $S$  был задан согласно стандарту равным 1 км. Все испытания были выполнены при комнатной температуре  $T \sim 23$  °C и относительной влажности воздуха 45-50%. Перед испытаниями поверхности образцов и шариков очищались этиловым спиртом. Датчики трибометра позволяют прецизионно измерять нормальную нагрузку и силу трения, что позволяет рассчитывать коэффициент трения как отношение силы трения к нормальной нагрузке. Износ МДО-покрытий измерялся как объём удаленного материала  $\Delta V$  на бесконтактном профилометре S Neox (Sensofar, Испания). Коэффициент износостойкости  $K$  определялся как отношение изношенного объёма к нормальной нагрузке и пути трения, то есть  $K = \Delta V / (P \cdot S)$ . По три теста было сделано для каждого покрытия.

Анализ результатов выполненных измерений трибологических свойств модифицированных МДО-покрытий позволяет сделать ряд выводов. Во-первых, введение

малого количества (5 г/л) Al-Cu-Fe квазикристаллов приводит к снижению коэффициента трения на 16% в сравнении с не модифицированным керамическим покрытием. Во-вторых, введение малого количества квазикристаллов в электролит при формировании МДО-покрытия оптимально для снижения его износа (коэффициент износостойкости модифицированного покрытия снижается в 43 раза и составляет  $K = 2,6 \pm 0,05 \times 10^{-6} \text{ мм}^3/\text{Нм}$ ). Следует отметить, что на процессы трения и износа существенное влияние оказывает трибопленка, а механизмом изнашивания покрытий является их хрупкое разрушение на микроуровне.

Автор выражает благодарность своим коллегам проф. Е.В. Торской, проф. В.Н. Мальшеву и с.н.с. О.О. Щербаковой. Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки №123021700050-1 (FFGN-2023-0005).

[1]. Torskaya, E.V.; Morozov, A.V.; Malyshev, V.N.; Shcherbakova, O.O. Processing and Tribological Properties of PEO Coatings on AlZn5.5MgCu Aluminium Alloy with Incorporated Al-Cu-Fe Quasicrystals. *Ceramics* 2023, 6, 0–13.

### **Исследование механических и электропроводных свойств композитов на основе полисульфона, наполненных наполнителями графитового типа**

Мохаммад Хуссом, Степашкин А.А.  
НИТУ «МИСиС», г. Москва, Россия

В последние годы использование полимерных композиционных материалов привлекло значительное внимание в различных отраслях промышленности благодаря привлекательному сочетанию механической прочности, легкости, коррозионной стойкости и простоты обработки. Эти материалы нашли широкое применение, среди прочего, в аэрокосмической, автомобильной, строительной и энергетической отраслях [1-2].

К сожалению, ограниченная электро- и теплопроводность полимерных материалов ограничивает их применимость. Введение упрочняющих и функциональных наполнителей обеспечивает улучшение свойств полимерных материалов. Для введения таких наполнителей часто используются технологии экструзионного смешивания, хотя высшая степень наполнения ограничивается 20-30% масс [3-4]. Такие уровни наполнения часто ниже порога перкаляции и не оказывают существенного влияния на проводимость полимерного материала. Нами предложена растворная технология, при которой наполнитель первоначально пропитывают раствором полимера, а образцы и изделия получают после сушки и удаления растворителя методом термопрессования. Этот способ получения высоконаполненных композиций позволяет получать материалы с высоким содержанием наполнителя до 70-80% по массе.

В качестве матричного материала использовался полисульфон (PSU) Ultrason S 2010, который используется для изготовления некоторых элементов силового агрегата современных гражданских самолетов. В качестве наполнителей для изготовления тепло- и электропроводных композитов использовались различные формы графита: искусственный графит (Марка ГМЗ), природный графит (ГЛ-1 ГОСТ 5279-74) и терморасширенный графит, который был изготовлен термохимическим методом.

Для оценки дисперсности частиц графита была использована сканирующая электронная микроскопия (SEM, TESCAN) для изучения поверхности излома композита. Теплопроводность собранных образцов оценивали методом лазерной вспышки на нанофлеш-устройстве Netzsch LFA447.

Измерение электропроводности проводили на установке термоЭДС.

Благодаря высокому уровню наполнения нам удалось достичь теплопроводности 7,35 Вт/мК при использовании 50% природного графита и электропроводности 52,9 См/см при использовании 50% природного графита.

Литература:

1. Dhandapani, E.; Thangarasu, S.; Ramesh, S.; Ramesh, K.; Vasudevan, R.; Duraisamy, N. Recent development and prospective of carbonaceous material, conducting polymer and their composite electrode materials for supercapacitor—A review. *J. Energy Storage* 2022, 52, 104937.

2. Chen, J.; Huang, X.; Sun, B.; Jiang, P. Highly thermally conductive yet electrically insulating polymer/boron nitride nanosheets nanocomposite films for improved thermal management capability. *ACS Nano* 2019, 13, 337–345.

3. Yang, S.; Li, W.; Bai, S.; Wang, Q. Fabrication of morphologically controlled composites with high thermal conductivity and dielectric performance from aluminum nanoflake and recycled plastic package. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2019, 11, 3388–3399.

4. Xu, Y.; Wang, X.; Zhou, J.; Song, B.; Jiang, Z.; Emy, L.; Huberman, S.; Gleason, K.K.; Chen, G. Molecular engineered conjugated polymer with high thermal conductivity. *Sci. Adv.* 2018, 4, aar3031.

### **Исследование структурных и трибологических характеристик композитных TiN покрытий с добавками Pb**

Николаев И.А., Савушкина С.В., Ляховецкий М.А., Лесневский Л.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Возрастающие нагрузки в узлах тепловых машин, а также стремление к снижению веса изделий, приводит к постепенному отказу от жидкостной системы смазки в пользу альтернативных решений, одним из которых является создание твердых смазочных покрытий, способных длительное время сопротивляться износу в условиях повышенной температуры и больших контактных давлений. В качестве материалов матриц для этих покрытий перспективны различные сочетания оксидных, нитридных и карбидных керамик [1].

Твердые смазочные композитные покрытия TiN с добавками Pb мкм получены на подложках из стали и титана в процессе реакционного магнетронного распыления раздельных катодов [2]. Получены столбчатые, столбчато-наноструктурные и композитные наноструктурные покрытия TiN-Pb с различным содержанием (3 – 13%), смазочного компонента при напылении на вращающиеся и неподвижные подложки. Найдено, что напыление при скорости вращения подложки 2 об/мин и содержании 3% Pb в матрице TiN приводит к структуре покрытия из перпендикулярных поверхности столбчатых кристаллитов, а с увеличением его содержания до 8% столбчатые кристаллиты в структуре становятся менее выраженными, а покрытие – столбчато-наноструктурным. Проведенный рентгенофазовый композитного наноструктурного TiN-Pb покрытия свидетельствует о бестекстурном состоянии. При этом дифракционные линии всех присутствующих фаз, включая Pb, PbO и TiN характеризуются значительным уширением, свидетельствующим о том, что размер субзеренной структуры составляет ~10-20 нм. Среди полученных структур покрытий наилучшие трибологические характеристики показало наноструктурное композитное покрытие, в котором мягкий компонент распределен как в матрице, так и в виде включений, что способствовало, с одной стороны, сохранению относительно высокой микротвердости (817 HV), среднего содержания Pb 12 % и бестекстурного состояния с низким размером зерна. Это обеспечивало низкий коэффициент трения (~0.1) на протяжении 50000 циклов испытаний, как в условиях комнатной температуры, так и в условиях ступенчатого нагрева до 100 и 200 °С. Более высокая стабильность трибологических характеристик композитного наноструктурного покрытия может объясняться наличием мягких островковых включений в поверхностном слое, приводящих к более легкому формированию сдвиговых областей при нагрузках, а меньшее содержание свинца в матрице - сохранять относительно высокую микротвердость.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-19-00754).

Литература:

1. Кондратьев В.А., Лесневский Л.Н., Тюрин В.Н., Ушаков А.М. Анализ состава и триботехнические характеристики износостойкого покрытия TiN на сплавах и керамике при сухом трении // Проблемы машиностроения и надёжности машин, 2004. №2. С. 49-54

2. Lozovan A., Savushkina S., Lyakhovetsky M., Betsofen S., Nikolaev I., Kubatina E. Investigation of Structural and Tribological Characteristics of TiN Composite Ceramic Coatings with Pb Additives// *Coatings*, 2023, 13(8), 1463

## **Влияние режима лазерной сварки на структуру и механические свойства листового проката алюминий-кальциевых сплавов**

Палкин П.А., Белов Н.А., Бобрышева А.О.

МИСиС, г. Москва, Россия

На данный момент существует необходимость в изготовлении комбинированных изделий, состоящих из алюминиевых сплавов, полученных различными методами. Для получения таких изделий целесообразно использовать роботизированные комплексы с универсальными модульными элементами, что уже нашло применение в настоящее время. В качестве перспективных материалов для данных технологий представляются сплавы на основе системы Al-Ca. По литейным свойствам они не уступают силуминам, но они гораздо более технологичны при получении деформированных полуфабрикатов

Для соединения фасонных отливок и деформированных полуфабрикатов целесообразно использовать современные методы сварки, что требует разработки технологических режимов для получения качественных изделий [1].

Роботизированный модульный комплекс, включающий в себя иттербиевый волоконный лазер, под управлением программного комплекса в защитной кабине, обладает преимуществами при изготовлении сварных соединений в сравнении с традиционными методами. В частности, при варьировании мощности излучения и толщины заготовок производительность процесса увеличивается до 2÷10 раз. Формирование сварных соединений лазерным излучением обеспечивает форму сварного шва с шириной зоны термического влияния, которые невозможно сформировать классическими методами сварки [2, 3].

Исследовано влияние режима лазерной сварки на структуру и механические свойства листового проката сплавов системы Al-Ca.

Исследованы оптимальные режимы сварки листовых заготовок сплавов систем Al-Ca встык, без разделки кромок, с использованием защитного газа.

На основе результатов механических испытаний и исследований в соответствии с ограничениями на дефекты для различных уровней качества ISO 13919-2 установлено, что полученные сварные соединения соответствуют уровню качества «Высокое». Установлены оптимальные параметры процесса сплавов различных систем легирования: для сплавов Al-Ca-Mn-Zn-Zr - мощность 1,7 кВт., скорость сварки 0,01 м/с, фокусное расстояние; 197 мм; для сплавов Al-Ca-La-Mn - мощность 1,2 кВт, скорость сварки 0,01 м/с, фокусное расстояние 195 мм; для сплавов Al-Ca-Mn-Ce — мощность 3 кВт, скорость сварки 0,02 м/с, фокусное расстояние 193 мм; для сплавов Al-Ca-Mn-Ni — мощность 1,85 кВт; скорость сварки 0,015 м/с, фокусное расстояние 193 мм.

Применение установленных режимов при формировании сварных соединений позволит получить высокое качества шва своим металлом без разделки кромок и использования сварочной проволоки, при сохранении структуры и механических свойств Al-Ca сплавов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00179, <https://rscf.ru/project/22-79-00179/>

Литература:

1. Бабкин А.В., Буркальцева Д.Д., Хамбазаров Ш.Б., Тюлин А.С. Анализ рынка робототехники в России: проблемы и перспективы развития в условиях цифровизации Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого 2019, Экономика и управление №8– 36с.

2. Опыт применения в машиностроении лазерных технологий в сварке деталей из рессорно-пружинных сталей / А.Б. Люхтер [и др.] // Инновационные проекты кооперации ВУЗов и предприятий машиностроения: практика внедрения лазерных технологий Материалы всероссийского совещания-конференции – 2015 – С. 127-131.

3. Белов Н.А. Фазовый состав алюминий-кальциевых сплавов: Научное издание. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2009. – 392 с.

## **Система критериальных выражений при проектировании процессов производства изделий из композиционным материалов методами обработки металлов давлением**

Палтиевич А.Р., Попова Ю.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Процессы обработки металлов давлением (ОМД) являются эффективным способом производства изделий и полуфабрикатов из композиционных материалов (КМ) на металлической основе. С помощью процессов ОМД разработаны технологии производства изделий из волокнистых КМ (ВКМ), слоистых КМ (СКМ), КМ, армированных частицами. Разработка новых технологических процессов производства изделий из КМ является сложной технической задачей, при решении которой необходимо учитывать особенности строения и состав заготовки КМ, возможности и ограничения технологии производства, а также требования, предъявляемые к конечному изделию.

Применение в КМ компонентов с различными физико-механическими свойствами создает проблему их совместимости как на этапе изготовления, так и в процессе эксплуатации.

Для армированных материалов с металлической матрицей проблема физической совместимости обусловлена, в основном, различием в коэффициентах линейного термического расширения при одинаковых давлениях и температурах [1]. В случае СКМ, проблема совместимости в использовании материалов с существенной разницей физико-химических и механических свойств.

Взаимосвязь основных параметров технологического процесса позволяет описать система критериальных выражений, связывающая характеристики заготовки, готового изделия и параметры процесса в единую систему. В зависимости от вида КМ можно сформулировать следующие критерии протекания технологических процессов:

### **1. Критерий компактности**

КМ после процесса деформирования должен иметь компактное строение – в процессе компактирования сборной заготовки должно произойти ее полное уплотнение.

### **2. Критерий формирования прочного соединения компонентов**

Образование соединения на границе раздела компонентов подразумевает их физико-химическое взаимодействие. Прочность соединения обеспечивается с одной стороны требуемым для данных материалов уровнем напряженно-деформированного состояния, а с другой – временем образования прочной связи.

В случае ВКМ, поддержание необходимого уровня напряжения компактирования, в течение времени образования прочной связи, требует введения дополнительных критериев, обеспечивающих сохранность и сплошность армирующих волокон.

Для СКМ напряжения компактирования сборной заготовки, должны обеспечивать прочное соединение компонентов с формированием металлической связи на границе раздела слоев, но без нарушения их исходной сплошности.

### **3. Критерий сохранения сплошности компонентов**

В процессе уплотнения заготовки ВКМ компоненты испытывают различный уровень силового воздействия. На начальной стадии процесса компактирования компоненты воспринимают упругую деформацию. Далее следует этап однокомпонентной деформации – пластическому течению подвергается только матрица, при этом происходит уплотнение заготовки. На следующей стадии уже все компоненты ВКМ будут деформироваться пластически. При проектировании технологических процессов изготовления изделий из ВКМ не следует допускать появления последней стадии, так как она сопровождается активным дроблением волокон из-за их малой пластичности.

### **4. Температурный критерий**

Температуры, при которых осуществляется формирование КМ, должны соответствовать интервалу горячей обработки давлением матричного компонента

Приведенные выше критериальные параметры не являются исчерпывающими при производстве изделий из КМ. Возможны дополнительные параметры, зависящие от типа КМ, технологического процесса изготовления, особенностей физико-химического строения.

## Анализ перспективных полимерных покрытий

Панкратова Т.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность данной работы связана с необходимостью использовать перспективные покрытия для защиты изделий от внешних факторов окружающей среды, таких как влага, повышенная температура, пыль, отпечатки пальцев, загрязнения, химические и механические воздействия. Полимерные покрытия наиболее экономичны и метод их нанесения покрытий менее трудоёмкий.

Постановка задач:

- Провести анализ материалов, служащих защитой для изделий, использующихся в условиях агрессивной среды, таких как повышенная температура и влажность, биологические и химические факторы;

- Рассмотреть процесс формирования покрытия на изделии.

Выбор покрытий для защиты РЭА и электронных устройств обусловлен технической и экономической оценкой научных исследований, позволяющих определить оптимальную толщину покрытия и способ его нанесения на поверхность. Это позволяет обеспечить высокую надёжность и безотказность работы устройства, а также снизить затраты на его производство.

Литература:

1. Ширшова, В. Поли-пара-ксиллиленовые покрытия: российская технология защиты РЭА / В. Ширшова, Е. Фомченко // Технологии в электронной промышленности. – 2019. – № 6(114). – С. 30-35. – EDN RYCIZO.

2. Кардаш И. Е., Пebaлк А. В., Праведников А. В. Химия и применение поли-п-ксиллиенов // Итоги науки и техники. Серия «Химия и технология высокомолекулярных соединений». Т. 19. М.: 1984.

### **Исследование микроструктуры композиционных материалов с титановой матрицей, модифицированных мультиграфеном, полученных методом горячего изостатического прессования**

Прилипко Е.А., Ерёмин С.А.

ФГБУ ВНИИТС, г. Москва, Россия

Авиакосмическая промышленность – основной потребитель титана, который требует применения материалов высокого качества и надежности конструкции. Этим требованиям соответствуют в основном сложнoleгированные сплавы титана [1]. В частности, сплав Ti 6Al 4V является термически стабильным, коррозионноустойчивым материалом, обладающим высокими механическими характеристиками прочности (до 1058 МПа) [2]. Несмотря на наличие высоких характеристик для данных сплавов ведутся разработки по повышению их физико-механических параметров, что вызвано повышением требований к условиям эксплуатации силовых элементов конструкции самолета и их надежности.

Повышение характеристик материалов осуществляется за счет введения в сплав на стадии подготовки шихты различных модифицирующих добавок. Применение графена является наиболее перспективным методом модифицирования титановых сплавов. Во-первых, графен можно равномерно распределить по поверхности исходной шихты (в частности порошок сферической или обломочной формы). Во-вторых, графен (мультиграфен) уникальным образом взаимодействует на гетерогенной поверхности и после процессов спекания образует жесткий упрочняющий карбидный каркас без образования скоплений свободного углерода, что приводит к значительному повышению характеристик [3, 4].

Для получения изотропной структуры материала применяется метод горячего изостатического прессования (ГИП). Метод ГИП подразумевает создание изотропных условий, в которых давление на спекаемый композиционный материал оказывается со всех сторон с одинаковым усилием. Важно рассмотреть граничные процессы, происходящие при воздействии давления и температуры на закономерности взаимодействия мультиграфена с титановым сплавом. Понимание этих процессов позволит прогнозировать ожидаемые физико-механические свойства каркасных композиционных материалов.

В данной работе проведено исследование микроструктуры и закономерностей взаимодействия графена (мультиграфена) с многокомпонентной системой Ti-Al-V в процессе ГИП. Из изображений микроструктуры видно, что границам зерен титанового сплава образовался прочный каркас. Понимание механизмов и закономерностей взаимодействия модифицирующих добавок в титан и его сплавы являются основой управления структурой, что позволит создавать титановые материалы с заданными свойствами и является актуальной научно-исследовательской работой.

Работа выполнена в рамках программы RNF-2023-004 «Исследование фазо- и структурообразования в системе Ti-6Al-4V-C (мультиграфен) в различных термодинамических условиях». Автор работы выражает глубокую благодарность доценту, к.т.н. Аникину В. Н., к.т.н. Ерёмину С. А. и всем сотрудникам лаборатории ФГБУ ВНИИТС.

1. Технологии порошковой металлургии для производства изделий из конструкционных и функциональных сплавов для авиакосмической техники / А.И. Логачева // Конструкции из композиционных материалов. – 2015. – №4 (140). – С. 15 – 25.

2. Братухин А. Г. Колачев Б. А., Садков В. В. Технология производства титановых самолетных конструкций // М.: Машиностроение. – 1995. – С. 25.

3. Cao Z. et al. Reinforcement with graphene nanoflakes in titanium matrix composites // Journal of Alloys and Compounds. – 2017. – Vol. 696. – P. 498-502.

4. Ерёмин С.А., Аникин В.Н., Рябцев А. Д. Влияние добавок мультиграфена на свойства изделий, спеченных из порошков нержавеющей и инструментальной стали / // Станкоинструмент. – 2022. – №1 (026). – С. 1-8.

#### **Установка для исследования теплостойких свойств УУКМ в высокотемпературном потоке газа**

<sup>1</sup>Родионова А.С., <sup>1</sup>Бухаров С.В., <sup>2</sup>Белогорлов А.А.  
<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>АО «НИИГрафит», г. Москва, Россия

Исследование термохимической стойкости и механической прочности УУКМ, предназначенных для последующего изготовления деталей, работающих в теплонапряжённых узлах авиационной и ракетно-космической техники, является одной из актуальных задач современного машиностроения.

Как правило, при воздействии высокотемпературных воздушных потоков на поверхности и в объеме УУКМ протекают химические реакции [1-3], тепловое разрушение [4-6], эрозионный унос под действием сдвиговых напряжений [4] и механическое разрушение при столкновении с взвешенными частицами в воздухе [7].

В качестве основных установок для определения стойкости УУКМ применяются: жидкостные и твердотельные ракетные двигатели, плазмотроны, кислород-ацетиленовые горелки.

Анализ установок для исследования термохимической стойкости УУКМ показывает, что ракетные двигатели, как и плазмотроны, сложные высокотехнологические установки испытания на которых требуют серьезных как финансовых, так и организационных затрат. Возможность создания компактной и простой в эксплуатации установки для исследования термохимической стойкости УУКМ существует только на базе кислород-ацетиленовой горелки. Варьирование потоков кислорода и ацетилена позволяет менять тип потока газа от нейтрального до окислительного, что существенно расширяет возможности такой установки.

На базе кислород-ацетиленовой горелки разработаны следующие стандарты: американский ASTM E 285 – 08 [8] и китайский GJB323A-96 [9]. На собранных, согласно описанию, установках возможно достижение температуры на поверхности образца 3000 К и более. Тепловой поток может достигать ~ 800 Вт/см<sup>2</sup>.

В настоящее время разрабатывается установка, обеспечивающая тепловой поток до 834 Вт/см<sup>3</sup> (при измерении теплового потока калориметром на холодной стенке) и скорость потока холодного газа 210 м/с. на может работать в нескольких режимах, которые будут определяться составом и скоростью потока газов, а так же расстоянием между горелкой и образцом.

В настоящее время для этой установки разрабатывается методика исследования УУКМ, позволяющая определять при выбранной скорости потока, как абсолютные значения массового и линейного уноса, так и значения индекса теплозащиты и скорость эрозии образца материала. Таким образом, разрабатываемая установка будет иметь более широкие испытательные возможности по сравнению с плазмотронами. Единственным недостатком разрабатываемой установки является возможность испытания только плоских образцов УУКМ без имитации обтекания их высокотемпературным потоком газа.

Литература:

1. Liu G. N. K. High temperature oxidation of graphite by a dissociated oxygen beam. – MASSACHUSETTS INST OF TECH CAMBRIDGE AEROPHYSICS LAB, 1973.
2. Головина Е.С. Высокотемпературное горение и газификация углерода. – Энергоатомиздат, 1983.
3. Han J. C., He X. D., Du S. Y. Oxidation and ablation of 3D carbon-carbon composite at up to 3000 C //Carbon. – 1995. – Т. 33. – №. 4. – С. 473-478.
4. Полежаев Ю. В., Юревич Ф. Б. Тепловая защита/Под ред //А. В. Лыкова.–М.: Энергия.–1976.–392 с. – 1976.
5. Han J. C., He X. D., Du S. Y. Oxidation and ablation of 3D carbon-carbon composite at up to 3000 C //Carbon. – 1995. – Т. 33. – №. 4. – С. 473-478.
6. Бояринцев В. И., Звягин Ю. В. Исследование разрушения углеграфитовых материалов при высоких температурах //High Temperature. – 1975. – Т. 13. – №. 5. – С. 958-964.

#### **Влияние температуры на кинетику процесса наводороживания, структуру и фазовый состав интерметаллидного титанового сплава ВТИ-4**

Румянцев К., Пожого О.З., Рябов А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Интерметаллидные титановые сплавы на основе соединения Ti2AlNb (орто-сплавы) активно исследуются в качестве жаропрочных материалов для изготовления изделий, работающих при температурах 650-700°C [1]. Термоводородная обработка является перспективной технологией для получения термостабильных структур орто-сплавов, обеспечивающих повышенный комплекс свойств, а также способствует снижению усилий деформирования и повышению степени деформации полуфабрикатов [2]. Для разработки эффективной технологии термоводородной обработки важной задачей является определение параметров процесса, в частности температуры наводороживающего отжига и концентрации введенного водорода, и их влияния на структуру и фазовый состав орто-сплавов.

В работе проведён наводороживающий отжиг образцов деформированной заготовки из титанового орто-сплава ВТИ-4 (Ti–10Al–43Nb–0,9Mo–1,0V–1,5Zr–0,13Si, здесь и далее мас.%) при температурах 700°C, 800°C и 900°C и ступенчатом режиме с понижением температуры от 900°C до 800°C и затем до 700°C с выдержками при указанных температурах. Проанализировано изменение давления водорода во времени при его поглощении. О завершении насыщения судили по достижении постоянства значения давления водорода. Концентрацию введенного водорода определяли по приросту массы образцов с помощью аналитических весов. Установлено, что при температурах 700 и 800°C происходит более активное и равномерное поглощение водорода сплавом, чем при температуре 900°C. Отмечено, что более высокие температуры отжига приводят к получению более низкой средней концентрации водорода, а также к заметной неоднородности его распределения по сатке, в результате чего несколько образцов оказываются разрушенными. Для получения заданной концентрации водорода (0,2-0,3%) необходима выдержка при температуре отжига не менее одного часа. Исследование структуры и фазового состава сплава после наводороживающего отжига при разных температурах показало, что фазовый состав сплава остается, как и в исходном сплаве двухфазным  $\beta$ +O. Параметр решетки  $\beta$ -фазы увеличивается при повышении содержания водорода от исходного до 0,3% с 0,327 нм до 0,331 нм соответственно. Отмечено, что с повышением температуры наводороживания наблюдается изменение микроструктуры сплава в сторону укрупнения структурных составляющих. Длина пластин O-фазы

увеличивается в 2–4 раза, а толщина в 5 раз. При этом после ступенчатого режима структура менее однородная, чем после изотермического наводороживания, наблюдаются отдельные области с крупными округлыми частицами О-фазы. Повышение температуры наводороживания приводит к снижению микротвердости сплава на 12%.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10260, <https://rscf.ru/project/22-79-10260/>.

Литература:

1. Banerjee D. The Intermetallic Ti2AlNb // Progress in Materials Science. 1997. No 42. P. 135–158.

2. Ильин А.А., Колачев Б.А., Носов В.К., Мамонов А.М. Водородная технология титановых сплавов / Под общ. ред. А.А. Ильина. М: «МИСиС», 2002. 392 с

### **Поведение 3D-тканых композитов при сжимающем разрушении**

<sup>1</sup>Рыжова Е.С., <sup>2</sup>Shao Tian, <sup>2</sup>Xu Wu, <sup>2</sup>Zhang Sihao

<sup>1</sup>МАИ, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Шанхайский университет Цзяotong, г. Шанхай, Китай

Трехмерный тканый композит (3DWC) имеет широкий спектр применения в аэрокосмической и автомобильной промышленности и становится центром разработки новых материалов благодаря своим выдающимся механическим свойствам, таким как расслоение, ударопрочность и устойчивость к разрушению, по сравнению с обычными 2D-ламинированными композитами. Общим недостатком полимерного композиционного материала, армированного углеродным волокном, является то, что прочность на сжатие, которая имеет решающее значение для проектирования, обычно ниже прочности на растяжение. Существующие исследования [1] по поведению 3DWC при сжатии показали, что коробление и перекручивание жгута волокон являются основными видами разрушения, на которые сильно влияют архитектура переплетения и свойства матрицы. Поэтому высокоточная мезоструктура 3DWC с точным описанием поперечного сечения нити весьма востребована для прогнозирования и характеристики механических свойств.

В этой работе предлагается оптимальная стратегия моделирования и оптимальные свойства контактов для повышения возможностей и эффективности использования подхода цифровых элементов для моделирования 3DWC без проникновения волокна [2]. Жгут далее измельчается до пучка волокон, который можно моделировать пепочками ферментных элементов. Затем мы использовали виртуальные волокна для моделирования процесса плетения 3DWC, применяя общий контакт в ABAQUS/EXPLICIT. Смоделированная архитектура 3DWC в целом хорошо сравнивается с архитектурой, полученной с помощью Micro-CT. По сравнению с другими методами, трехмерное моделирование ткани с использованием реального процесса ткачества является более точным. Виртуальная архитектура, полученная с помощью настоящего метода, имеет высокую точность, что подтверждается изображениями, полученными с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM).

На основе обеспечения его хорошей геометрической точности мы применили метод экспериментального и численного моделирования, чтобы продемонстрировать его возможности для прогнозирования прочности на сжатие. На основе стандартного эксперимента ASTM установлен набор высокоинтегрированного и простого в эксплуатации испытательного оборудования для определения прочности на сжатие испытательных образцов различной толщины и записи поведения при разрушении с помощью высокоскоростной камеры. Модель численного моделирования реконструируется на основе ранее полученной высокоточной модели с использованием технологии обратного проектирования CATIA. Чтобы избежать зависимости модели от сетки, режим образования трещин учитывается вместе с когезионным поведением границы раздела между волокном и матрицей. Расчетные силы являются приемлемыми в сравнении с экспериментальными результатами, которые также подтвердили осуществимость метода моделирования при прогнозировании прочности на сжатие. Следовательно, как альтернатива дорогостоящим и

трудоемким экспериментам, эта стратегия моделирования имеет широкий спектр инженерных приложений и заслуживает дальнейших исследований.

[1] Lee SH, Waas AM. Compressive response and failure of fiber reinforced unidirectional composites. *Int J Fracture* 1999; 100: 275–306

[2] Yang Z, Jiao Y, Xie J, Chen L, Jiao W, Li X, Zhu M. Modeling of 3D woven fiber structures by numerical simulation of the weaving process. *Compos Sci Technol* 2021; 206: 108679

### **Теплопроводность функциональных волокнистых неоднородных материалов**

Рыжова Е.С., Кривень Г.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Композитные материалы с полимерной основой обычно обладают низкой теплопроводностью, что может привести к повреждению непроводящих конструкций самолета при ударах молнии. Однако, из исследований [1-2] следует, что добавление небольшого количества углеродных нанотрубок (УНТ) приводит к значительному увеличению теплопроводности композитного материала, что делает возможным превращение полимерных композитов в проводящие материалы и придает им multifunctionality.

На данный момент активно разрабатываются технологии производства современных волокнистых композитов, на поверхности которых растут специальные наноструктуры, такие как УНТ (или "Фуззи" волокна). Волокнистая система с такими наноструктурами обладает дополнительными функциональными свойствами. Было доказано, что модификация поверхности УНТ позволяет создать композит с улучшенными характеристиками жесткости, прочности и демпфирования [3-4].

В данной работе рассматриваются два вида модифицированных композитов: 1) с вискеризованным межфазным слоем, состоящим из хаотически расположенных и переплетающихся вискерсов, и 2) с вискерами, выращенными перпендикулярно поверхности волокна.

Проводится сравнительный анализ эффективных коэффициентов теплопроводности модифицированных композитов с вискеризованными волокнами и аналогичных классических композитов.

В результате исследования влияния объемного содержания модифицированного волокна, объемной концентрации вискерсов и толщины вискеризованного межфазного слоя на эффективный коэффициент теплопроводности модифицированного композита с вискеризованными волокнами было выяснено, что увеличение эффективной теплопроводности достигается за счет увеличения содержания вискерсов в межфазном слое и объема модифицированного волокна. Кроме того, было установлено, что модификация композита с использованием углеродных нанотрубок, выращенных перпендикулярно поверхности волокна, позволяет регулировать эффективный коэффициент теплопроводности в широком диапазоне.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-3607.2022.1.1.

Литература:

1. Biercuk M.J., Llaguno M.C., Radosavljevic M., Hyun J.K., Johnson A.T. Carbon nanotube composites for thermal management // *Appl Phys Lett.* – 2002. -Vol. 80. – No. 15. – Pp. 2767–2769.

2. Bonnet P., Sireude D., Garnier B., Chauvet O. Thermal properties and percolation in carbon nanotube–polymer composites // *Appl Phys Lett.* – 2007. – No. 91. – Pp. 201910.

3. Kriven G.I., Lurie S.A., Thang T.Q., Orekhov A.A. Strength, stiffness, and damping properties of whiskerized fiber composites with longitudinal shear // *Composites: Mechanics, Computations, Application* this link is disabled, 2021, 12(4), pp. 1–22.

4. Кривень Г.И. Оценка демпфирующих свойств композитов // *Труды МАИ.* - 2022. – Вып. 127.

## **Определение трещиностойкости термопластичных стекло- и органокомпозитов, полученных по волоконной технологии**

Салиенко Н.В., Бабаевский П.Г., Салиенко А.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Применение термопластичных композиционных материалов (ТКМ) в авиационной технике обусловлено уникальным комплексом их свойств, сочетанием высокой удельной прочности и стойкости к различного рода повреждениям. Наиболее прогрессивной с точки зрения обеспечения стабильности свойств и многообразия изготавливаемых изделий из ТКМ является волоконная технология, суть которой заключается в том, что матричные плавкие термопластичные волокна вплетаются в текстуру армирующего наполнителя (неплавкие волокна – органические, стеклянные и т.п.) образуя регулярные тканые или хаотичные нетканые структуры полуфабрикатов [1]. После совмещения, при формовании матричные волокна расплавляются и происходит пропитка наполнителя под давлением с последующей монолитизацией и фиксацией формы готового изделия охлаждением до температуры стеклования матричного полимера. Однако, несмотря на очевидные технологические преимущества, ТКМ полученные по волоконной технологии в процессе эксплуатации склонны к образованию и распространению дефектов в виде трещин.

Целью данной работы является экспериментальное и численное определение межслоевой трещиностойкости термопластичных стекло- и органокомпозитов, полученных по волоконной технологии.

В работе проводились экспериментальные и расчётные исследования в области оценки трещиностойкости однонаправленных непрерывно армированных стекло- (ПАП-С) и органокомпозитов (ПАП-Т и ПАП-Ф) на основе поликапроамидной матрицы, изготовленных методом прессования из тканых полуфабрикатов марок ТОПАС-2, ТОПАТ-8 и ТОПАФ-17. Для прямого определения глобальных значений трещиностойкости  $G_Ic$  стекло- и органокомпозитов экспериментальным методом ЛУМР использовали образцы в виде двухконсольной балки (ДКБ) с краевой трещиной, нагружаемой по моде I согласно ГОСТ 56815-2015 и ASTM D 5528 – 01. Для предотвращения прогиба полубалок на верхнюю и нижнюю горизонтальные поверхности по всей длине ДКБ с помощью клея ВК-27 приклеивали жёсткие Т-образные дюралюминиевые профили. Параметры когезионной зоны т.к. локальная прочность  $\sigma_c$ , максимальное раскрытие  $\delta_{max}$  и длина когезионной зоны  $l_{cz}$  определяли нестандартными методами [2]. Численная оценка трещиностойкости при нагружении по моде I образцов ДКБ осуществлялась с использованием модифицированного билинейного закона когезионной зоны с учётом мостикообразования.

1. Волоконная технология переработки термопластичных композиционных материалов / Под ред. Г.С.Головкина. - М.: Изд-во МАИ, 1993. - 232 с.

2. Бабаевский П.Г., Салиенко Н.В., Новиков Г.В. Использование экспериментально определенных параметров когезионной зоны при численной оценке устойчивости к расслоению полимерных композитов - «Перспективные материалы», 2019, №3. с. 74-81.

## **О сильном закритическом деформировании тонких композиционных пластин и панелей**

Селюгин С.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Рассматриваются тонкие композиционные пластины и панели, нагруженные нагрузками, превышающими нагрузки потери устойчивости. Укладка слоёв считается симметричной и могущей зависеть от перехода от точки к точке. Принята гипотеза прямых нормалей Кирхгоффа. Прогобы при этом считаются большими и превышающими прогибы, описываемые приближением фон Кармана. На основе принципа виртуальных работ получены уравнения равновесия, которые являются существенно нелинейными. Выведен кинематический вариационный принцип, приводящий к этим уравнениям. Получены уравнения совместности деформаций в срединной плоскости. Получены необходимые условия оптимальности углов укладки слоёв для максимизации жесткости конструкции. Указано важное частное решение этих условий, при котором оптимальные ориентации

являются локально ортотропными. Оси ортотропии для этих решений соприкасаются с налагающимися друг на друга осями главных 2D-деформаций и главных обобщённых кривизн.

Литература:

1. Васидзу К. 1987. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. М., Мир.
2. Новожилов В.В. 1948. Основы нелинейной теории упругости. ОГИЗ.
3. Новожилов В.В. 1958. Теория упругости. Судпромгиз.
4. Gibson RF. 1994. Principles of composite material mechanics. McGraw-Hill, Inc., 425 pp.
5. Reddy JN. 2004. Mechanics of laminated composite plates and shells. Theory and analysis. 2nd edition. CRC Press, 831 pp.

#### **Межслоевая локальная прочность тонколистовых углекомполитов прошитых двойным челночным стежком**

<sup>1</sup>Синицын А.Ю., <sup>2</sup>Бабаевский П.Г., <sup>3</sup>Гайворонский А.В., <sup>1</sup>Ширко А.А., <sup>1</sup>Мазур В.В.  
<sup>1</sup>АО «ОНПП «Технология», г. Обнинск, Россия  
<sup>2</sup>МАИ, г. Москва, Россия

В самолетостроении выбор технологии производства элементов конструкций из тонкослойных углекомполитов (УКМ), определяется совокупностью разных факторов, в том числе и экономической эффективностью производства. В связи с этим в качестве альтернативы традиционным препреговым технологиям при производстве элементов авиационной техники широкое применение находит метод вакуумной инфузии [1].

Технология вакуумной инфузии при оптимальных условиях проведения процесса позволяет получать тонколистовые панели высокого качества из слоистых УКМ. Однако, такие панели в трансверсальном (межслоевом) направлении обладают значительно меньшей жесткостью, прочностью и трещиностойкостью.

На сегодняшний день наиболее перспективным способом межфазного армирования слоистых УКМ, является трансверсальная прошивка «сухих» слоев армирующей ткани высокопрочными нитями [2].

При решении задач по повышению межслоевой устойчивости слоистых УКМ трансверсальной прошивкой используются различные методы оценки межслоевых свойств, в том числе и методы энергетического подхода ЛУМР к оценке межслоевой трещиностойкости слоистых УКМ при заданном типе нагружения по моде I.

Инициирование и рост трещины в прошитом УКМ вдоль строчек прошивки имеет резко выраженный ступенчатый характер, так как трещина поочередно проходит прошивочные стежки, разрывая образующие их нити. Очевидно, что величина трещиностойкости для прошитых УКМ определяется в основном затратами энергии на прохождение одного переплетения стежка. При моделировании процессов, происходящих при прохождении фронтом трещины индивидуального переплетения стежка, учитываются три основных процесса: 1) отрыв (отслоение) от полимерной матрицы сквозных нитей стежка по слоям; 2) компенсация натяжения нитей стежка, предельное значение которого не было достигнуто в процессе сшивания; 3) мостиковый эффект стежковых нитей, их разрыв и извлечение [3].

Для проверки этой модели в данной работе из пластин прошитого двойным челночным стежком слоистого УКМ вырезали образцы, содержащие одно переплетение стежка, для определения его межслоевой локальной прочности. Образцы испытывали на разрыв переплетения стежка при растяжении, фиксируя усилие и деформацию.

Полученные кривые нагрузка-деформация показали, что, в принципе, они соответствуют модели разрушения переплетения стежка при прохождении фронта трещины: первый участок до достижения максимального усилия соответствует всем процессам вплоть до разрыва нитей переплетения, а второй – их извлечению и преодолению силы трения.

Литература:

1. Степанов Н.В., Соколова А.В., Синицын А.Ю. Особенности технологии изготовления лонжерона из композиционных материалов методом вакуумной инфузии / Конструкции из композиционных материалов. 2016. № 3. С. 25.

2. Ren J., Kim Y.K., Rice J. Comparing the fracture toughness of 3-D braided preform composites with z-fiber-reinforced laminar composites / Textile research journal. 2011. Vol. 81. № 4. P. 335-343.

3. Daniel A Drake, Rani W Sullivan. Influence of stitching on the out-of-plane behavior of composite materials – A mechanistic review / J of CMs 2021. Vol. 55. № 23. P. 17.

### **Современные системы терморегулирования космических аппаратов и способы их изготовления**

Степанов К.П., Степанов В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Одним из важных аспектов космических миссий является регулирование температуры внутри аппаратов. В космосе существуют разнообразные экстремальные условия, такие как сильные колебания температуры, радиационные воздействия и невесомость. Эти условия могут серьезно повлиять на электронику, двигатели и другие системы на борту, что может привести к сбоям и отказам. Теплообменники способны управлять этими температурными условиями, обеспечивая надежную работу аппаратов даже в экстремальных ситуациях.

Принцип работы теплообменников заключается в передаче тепла между двумя средами. Теплообменник состоит из пассивов, в которых циркулирует теплоноситель, обычно жидкость или газ. Он охлаждает нагретую среду путем передачи тепла от одной среды к другой. Процесс охлаждения может быть достигнут различными методами, включая конвекцию, кондукцию и излучение.

Целью данной работы является анализ существующих современных систем терморегулирования космических аппаратов. Так же рассмотрены особенности конструкции и принципы работы современных теплообменников.

На основании анализа особенностей конструкций и принципов работы современных теплообменников предложены оптимальные технологические решения для изготовления систем терморегулирования космических аппаратов.

1. С.В. Цаплин, С.А. Больчев, А.Е. Романов «Теплообмен в космосе», Издательство Самарского университета 2018

2. А.И.Леонтьев “Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок” изд. МГТУ им. Баумана, Москва, 2003 г.

### **Деформационное поведение микропластиков и монослоев термопластичных препрегов «углеродное волокно – полисульфон»**

Степашкин А.А., Олифинов Л.К., Хуссом Мохаммад, Макарова Е.Д., Борисова Е.А.

НИТУ МИСИС, г. Москва, Россия

Применение термопластичных матриц позволяет существенно увеличить ударную вязкость, вязкость разрушения, повысить теплостойкость композиционных материалов на их основе. В авиационной технике активно начинают применяться матрицы на основе полифениленсульфида, полиэфирэфиркетона, полисульфона и других термопластов. Наличие предела текучести, составляющего порядка 50 – 70 МПа и удлинение при разрыве на уровне 40 – 90%, обуславливает особенности деформационного поведения созданных на их основе композиционных материалов. При относительно небольших напряжениях становится возможным локальное течение полимерной матрицы, приводящее к перераспределению напряжений в материале и меняющее условия совместной работы матрицы с армирующим наполнителем. Это делает необходимым изучение особенностей протекания деформаций в композиционных материалах с термопластичными матрицами, армированными углеродными волокнами, с целью уточнения существующих и разработки новых расчетных моделей позволяющих прогнозировать их работу в изделиях.

В настоящей работе исследовалось деформационное поведение микропластиков на основе волокон номиналом 1 – 12К и монослоев на основе однонаправленных лент (UD, 3К, 12К) и углеродных тканей (саржа, полотно, 3К, 12К). Формирование композиционных материалов проводили с использованием растворной технологии, пропитывая волокнистые преформы раствором полисульфона в метилпирролидоне. В качестве материала термопластичной

матрицы использовали полисульфон марки Ultrason S 2010. Диапазон концентраций полимера в растворе изменяли в диапазоне от 20 до 40 масс., что позволило получить содержание полимера в композиционных материалах от 20 до 50 масс.%

Полученные образцы исследовали при растяжении с постоянной скоростью деформации 0,1 – 5 %/мин, одновременно с записью диаграмм нагрузка-деформация проводили видеосъемку процессов деформирования. Из полученных видео вырезали кадры соответствующие заданным значениям нагрузки и с помощью пакета прикладных программ "MATLAB" проводили построение полей смещения и деформаций в исследуемых образцах.

Показано, что в образцах под действием приложенных напряжений может происходить локальное течение полимерной матрицы, приводящее к изменению ориентации отдельных пучков элементарных волокон, что приводит к росту модуля упругости композитов.

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант 22-43-02081.

### **Материалы и технологии для применения в изделиях с повышенным сопротивлением динамическим высокоскоростным нагрузкам**

Степушин А.С., Смирнов П.А., Журбенко А.С., Рябов А.А.  
МАИ, г. Москва, Россия

В мире постоянно ведутся работы по улучшению существующих и созданию новых бронезащитных материалов, которые в полной мере должны обеспечивать защиту от поражающих элементов. На рынке бронезащитных материалов в основном пользуются спросом материалы, обеспечивающие защиту по III-V классам. Одним из перспективных материалов в данной области являются высокопрочные ( $\alpha+\beta$ )- титановые сплавы (BT6, BT23 и BT22), которые имеют ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с другими бронезащитными материалами: более высокую прочность ( $\sigma\beta=950-1150$  МПа) по сравнению с алюминиевыми сплавами ( $\sigma\beta=550$  МПа), более низкий удельный вес ( $\rho=4,5$  гр/см<sup>3</sup>) по сравнению с сталями ( $\rho=7,8$  гр/см<sup>3</sup>) и меньшую хрупкость ( $\delta=10\%$ ) по сравнению с керамическими материалами ( $\delta=0,5\%$ ) [1, 2]. При этом их повышенный комплекс свойств обеспечивается принципиально разной структурой как с фронтальной, так и с тыльной стороны. В таких материалах фронтальная сторона, поглощает основную ударную нагрузку и должна быть твёрдой, для деформации и разрушения поражающего элемента, а тыльная сторона наоборот должна быть вязкой для поглощения остаточной энергии [3]. Для реализации такой структуры прибегают к созданию слоистых композиционных материалов, многослойных материалов типа «Сэндвич» или формированию в одном материале гетерогенных градиентных структур.

В титановых сплавах многослойный материал типа «Сэндвич» можно осуществить путём сбора из пластин из титановых сплавов BT23 и BT6 двухслойного пакета, в котором фронтальный слой изготавливается из термически упрочнённого сплава BT23 или BT22

( $\sigma\beta=1100-1200$  МПа), а тыльный слой из отожжённого в  $\beta$ -области сплава BT6 ( $KCU=0,65$  МДж/м<sup>2</sup>). Регулирующими параметрами, влияющими на размер и морфологию структурных составляющих, является температурно-скоростные параметры термической обработки.

Однонаправленную градиентную структуру в титановых сплавах можно сформировать с помощью термоводородной обработки с помощью направленного «ввода» водорода. После такой обработки, в зависимости от используемого сплава (BT6, BT22, BT23) в пластине с фронтальной стороны формируется твёрдый и прочный ( $\sigma\beta=1100-1200$  МПа) слой с мелкодисперсной структурой протяжённостью 4500 мкм, плавно переходящий в крупнопластинчатую структуру с повышенной вязкостью ( $KCU=0,43-0,50$  МДж/м<sup>2</sup>)

на тыльной стороне. На размер и морфологию структурных составляющих, влияние будут оказывать термокинетические параметры процесса наводороживающего отжига и температурно-временные параметры вакуумного отжига.

Материалы с однонаправленной градиентной структурой по динамической стойкости к высокоскоростным энергетическим нагрузкам в среднем на 15% превосходят серийные гомогенные бронематериалы. При этом в материалах с градиентной однонаправленной структурой реализуется более плавный переход между свойствами прочности и вязкости.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда №22-79-10264, <https://rscf.ru/project/22-79-10264/>.

Литература:

1. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования / Григорян В.А., Кобылкин И.Ф., Маринин В.М., Чистяков Е.Н.-М.: Изд. РадиоСофт, 2008-406 с.
2. Хорев А.И. Фундаментальные и прикладные работы по конструкционным титановым сплавам и перспективные направления их развития/Технология машиностроения №1, 2014, с.5-10.
3. Работоспособность броневых материалов / Анастасиади Г.П., Сильников М.В. // СПб.: Астерион, 2004.-624 с.

### **Испытания и расчет продольного растяжения конструктивно-подобного образца из объемно-армированного композиционного материала**

<sup>1</sup>Сулейманова Ю.Г., <sup>2</sup>Бабушкин А.В., <sup>3</sup>Ремизов А.Е.

<sup>1</sup>ПАО «ОДК-Сатурн», г. Рыбинск, Россия

<sup>2</sup>ПНИПУ, г. Пермь, Россия

<sup>3</sup>РГАТУ, г. Рыбинск, Россия

В данной работе представлены результаты испытаний и расчетов конструктивно-подобных образцов на растяжение трех видов переплетения: ортогональной (тип 1), с модифицированной схемой переплетения, усиленной в направлении основных нитей (тип 2) и с модифицированной схемой переплетения, усиленной в направлении растягивающих и сдвиговых нагрузок (тип 3). Испытаниям на продольное растяжение подвергались образцы конструктивно-подобных элементов замка рабочей лопатки вентилятора (рис.1). Образец устанавливается в испытательную установку, предварительно закрепленную в захватах испытательной системы, и статически нагружается с постоянной скоростью. Испытание проводится с целью определения максимальной нагрузки, которую КПЭ выдержит при заданной скорости нагружения до разрушения.

По результатам испытаний разрушение образцов первого типа произошло в переходной зоне при нагрузке от 82,6 до 104,1 кН, модифицированной (второго типа) – от 72,3 до 81,3 кН, модифицированной (третьего типа) – от 122,1 до 135,3 кН.

Произведено в первом приближении конечно-элементное моделирование конструктивно-подобного образца в условиях испытаний на растяжение трех схем переплетений. По первичным оценкам в упругой зоне методика имеет хорошую сходимость с результатами эксперимента по нагрузке и характеру разрушения [1]: для первой схемы переплетения сходимость с результатами испытаний составляет 99%, для второй – 75%, для третьей – 96% по коэффициенту местной статической прочности в зоне разрушения на разрушающей нагрузке.

### **Принципы выбора элементов для комплексного модифицирования заэвтекстических силуминов**

Федорцов Р.С., Петров И.А., Ряховский А.П., Майоров Д.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Особенности эксплуатации многих деталей требуют применения материалов с повышенным уровнем механических свойств. Для этого в практике литейного производства используется процесс модифицирования. Модифицирование сплавов производится введением в расплав веществ-модификаторов, которые в малых количествах оказывают влияние на процесс кристаллизации сплава, улучшая его структуру [1]. Заэвтекстические силумины обладают высокой жаростойкостью и износостойкостью и широко используются в аэрокосмической и автомобильной промышленности, являясь важным конструкционным материалом. Их широкое применение обусловлено исключительно благоприятным сочетанием литейных, механических и физических свойств (жидкотекучесть, твердость, износостойкость и температурный коэффициент линейного расширения) [2].

Однако использование заэвтектических силуминов ограничивается грубой формой первичных кристаллов кремния и их неравномерным распределением в отливках. Это приводит к охрупчиванию сплава и понижению механических свойств. Поэтому, для повышения механических свойств заэвтектические силумины модифицируют [2].

По механизму воздействия на структуру сплавов модифицирующие добавки можно разделить на две основные группы: поверхностно-активные вещества и вещества, образующие дополнительные центры кристаллизации. Преимущество комплексного модифицирования заключается в совместном действии при кристаллизации сплава двух механизмов модифицирования. При этом происходит адсорбция на растущих кристаллах вещества, препятствующего их росту и образование множества дополнительных центров кристаллизации. Следует отметить, что при комплексном модифицировании несколькими модификаторами усиливается их модифицирующий эффект, что позволяет уменьшить их концентрацию в сплаве.

Традиционным модификатором для заэвтектических силуминов является фосфор, который вводится в расплавы, преимущественно в виде лигатуры. В настоящее время проводятся исследования по воздействию редкоземельных элементов на структуру заэвтектических силуминов. Помимо модифицирования кристаллов первичного кремния, редкоземельные элементы измелчают кремний в эвтектике ( $\alpha$ +Si) и положительно влияют на морфологию Fe – содержащей фазы [2].

Анализируя существующие модификаторы для силуминов, было обнаружено, что некоторые модифицирующие элементы могут оказывать модифицирующее воздействие на разные структурные составляющие сплавов. Однако большинство модификаторов воздействуют только на какую-либо определенную структуру и не оказывают воздействия на другие типы структуры. На основании анализа литературных источников было решено исследовать возможность комплексного модифицирования силуминов модификаторами различного типа. Для повышения эффективности модифицирования заэвтектических силуминов необходимо воздействовать как на формирование первичных кристаллов кремния, так и на эвтектику ( $\alpha + \text{Si}$ ).

В работе исследовалось комплексное воздействие систем «титан-барий-калий» и «титан-барий-углерод» по отдельности и совместно с фосфором на структуру сложнопегированных силуминов заэвтектического типа.

1. Строганов Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием / Г.Б. Строганов, В.А. Ротенберг, Г.Б. Гершман – М.; Металлургия, 1977 – 272 с.

2. Петров И.А., Ряховский А.П., Шляпцева А.Д., Федорцов Р.С., Майоров Д.И. Исследование влияния некоторых редкоземельных элементов на структуру и свойства силумина заэвтектического типа // Технология Легких Сплавов. 2023, № 2. с.11 -19.

### **Экспериментальная и численная оценка трещиностойкости слоистых полимерных композитов при нагружении индивидуальными и комбинированной модами**

Шаталин А.А., Бабаевский П.Г., Салиенко Н.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В процессах производства, эксплуатации и ремонта ответственные элементы аэрокосмических конструкций из слоистых армированных полимерных композиционных материалов (ПКМ), таких как стекло- и угле- композиты (СКМ и УКМ), сравнительно легко подвергаются внутренним повреждениям, таким как расслоение, при воздействии низкоскоростных ударных нагрузок. Поэтому важной задачей при проектировании и расчете на прочность и несущую способность таких конструкций и обеспечения их надёжности является оценка и прогнозирование устойчивости материалов к росту межслоевых трещин (трещиностойкости) при действии растягивающих, сдвиговых и комбинированных (смешанных) нагрузок [1].

Целью работы является экспериментальное определение и численные расчеты интенсивности высвобождения упругой энергии при росте трещины при индивидуальных и комбинированных нагрузках (GIC, GIIC GI-III соответственно) двух отечественных марок слоистых ПКМ – эпоксидных СКМ и УКМ. Для определения первых двух параметров

использовали стандартные образцы с краевой трещиной (CB и ENF соответственно), а третьего – нестандартные образцы типа SLB и OLB [2]. Для определения локальной межслоевой прочности и предельной деформации при растяжении и сдвиге ( $\sigma_{IC}$  и  $\sigma_{IIC}$ ,  $\delta_{I\max}$  и  $\delta_{II\max}$  соответственно) определяли разработанными нестандартными методами разрушения заданной межслоевой перемычки. Образцы для экспериментальных исследований вырезали из пластин СКМ и УКМ, полученных методом вакуумного формования препрегов КМКС и КМКУ. Численное моделирование и оценка межслоевой трещиностойкости слоистых СКМ и УКМ при индивидуальных модах нагружения осуществляли с использованием метода конечных элементов и модифицированного билинейного закона когезионной зоны (КЗ) в пакете программ “ANSYS” с использованием локальных межслоевых свойств как параметров КЗ. Для численного моделирования и расчетов при смешанной моде нагружения в пакете программ “ANSYS” использовали метод виртуального закрытия трещины и степенной критерий разрушения Бензег-Кеннана.

Полученные результаты и их анализ показывают, что используемый подход может служить основой разработки эффективных численных методов расчетов на межслоевую прочность и трещиностойкость сложных конструктивно-подобных образцов, элементов конструкций и конструкций в целом из слоистых ПКМ. С другой стороны, такие методики могут быть эффективными при решении материаловедческо-технологических задач по разработке состава и структуры, способов и режимов формирования слоистых ПКМ, обладающих повышенной межслоевой трещиностойкостью.

1. Бабаевский П.Г., Салиенко Н.В., Новиков Г.В. Использование экспериментально определенных параметров когезионной зоны при численной оценке устойчивости к расслоению полимерных композитов - «Перспективные материалы», 2019, №3. с. 74-81.

2. Н. О. Яковлев, А. И. Гуляев, О. А. Лашов Трещиностойкость слоистых полимерных композиционных материалов (обзор) Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн., 2016, №4, с.106-114. URL: <http://www.viam-works.ru>.

#### **Анализ способов упрочнения частиц композиционного порошкового материала системы WC10Co4Cr применяемого для нанесения износостойкого покрытия методами ГТН**

<sup>1</sup>Шатнова В.С., <sup>1</sup>Хапков О.М., <sup>2</sup>Фадеев А.А.

<sup>1</sup>ООО «СплавТехКомплект», г. Рыбинск, Россия

<sup>2</sup>Имет Ран, г. Москва, Россия

Для нанесения износостойкого покрытия высокоскоростным газопламенным напылением (HVOF) был получен композиционный порошок системы WC10Co4Cr. Одним из требований, предъявляемых к композиционному порошку, является прочность частиц. Распылительная сушка не позволяет получить необходимую прочность, поэтому изготовление композиционного порошка WC10Co4Cr требует упрочнения частиц при помощи термического воздействия. Оно позволит удалить расходные и связующие примеси, устранить оксидные пленки, снять остаточное напряжение, а также привести к окончательной форме частиц (сферическая геометрия). Это позволяет получить более плотные слои порошка и приводит к более желательным свойствам деталей с меньшим количеством дефектов. В данной статье рассматриваются результаты проведения опытов по упрочнению порошка при помощи высокотемпературного спекания и плазменной сфероидизации.

Классическим методом упрочнения WC10Co4Cr является высокотемпературное спекание при температуре 1300 °С для образования стабильной кристаллизации. Нагрев сопровождается появлением жидкой фазы связующего металла из-за расплавления эвтектики и перекристаллизацией карбидной составляющей. В свою очередь процесс плазменной сфероидизации расплавляет все элементы. Параметры процесса могут взаимодействовать друг с другом или с исходными характеристиками порошка, влияя на сферическую геометрию частиц, выход порошка, химический состав, распределение частиц по размерам и т.д.

В результате исследования были получены следующие результаты:

Агломерированный и спеченный композиционный порошок WC10Co4Cr имеет фазовый состав: WC, CoxCyCz, CrxCy, Co и CrxCyCz. Распределение элементов, входящих в состав композиционного порошка, преимущественно однородное. Частицы порошка плотные, размер от 20 до 45 мкм. Насыпная плотность 4,5 г/см<sup>3</sup>, текучесть 13 с/50г.

У агломерированного и сфероидизированного композиционного порошка WC10Co4Cr изменение химического и фазового состава можно представить формулой: WC(CoCr) + [O] > W<sub>2</sub>C(CoCr) + C + CO. Частицы порошка более плотные, размер от 20 до 45 мкм. Насыпная плотность 7,35 г/см<sup>3</sup>, текучесть 9 с/50г.

По результатам эксперимента можно сделать вывод, что при применении технологии, включающую в себя этап плазменной сфероидизации, композиционный порошок имеет более однородное распределение и более плотную структуру, чем при спекании. Данный способ имеет ряд недостатков: происходит значительное испарение Co и Cr, разрушение фазы WC с образованием W<sub>2</sub>C и обеднение по содержанию углерода.

### **Влияние вакуумного ионно-плазменного азотирования на структуру и свойства псевдо-β-титанового сплава Ti-5553**

Шураков М.А., Бессемянников В.В., Митрофанова А.Р., Зайнетдинова Г.Т.

МАИ, г. Москва, Россия

Повышение износостойкости титановых сплавов актуально для изготовления высоконагруженных деталей, работающих в условиях ограниченной подвижности, где замена сталей титановыми сплавами приведет к значительному снижению массы конструкции.

Упрочняющая термическая обработка титанового сплава Ti-5553, включающая закалку из (α+β)- области и последующего старения при 450°C в течение 25 часов, позволяет получить значения твердости до 51 ед. HRC. Микроструктура образцов из сплава Ti-5553 после УТО, предварительно закаленного с температуры (α+β)- области, представлена β-фазой и первичной α-фазой.

Изучено влияние режимов вакуумной ионно-плазменной обработки (ВИПО) на структуру и свойства поверхности образцов из сплава Ti-5553.

Проведенные металлографические исследования показали, что в образцах из титанового сплава Ti-5553 после азотирования, нанесения нитрида и комбинированной обработки азотирования с нанесением нитрида структура образцов практически не изменяется. Она представлена β-фазой и глобулярными частицами α-фазы.

Микротвердость образцов из сплава Ti-5553 после УТО в полированном состоянии составляет 430 ед. HV0.05. После ВИПА микротвердость поверхности увеличивается примерно в 1,5 раза и составляет 650 ед. HV0.05. Нанесение нитрида титана приводит к повышению микротвердости поверхности почти в 2 раза по сравнению с исходным состоянием – до 890 ед. HV0.05. А проведение комбинированной обработки приводит к незначительному увеличению микротвердости до 910 ед. HV0.05.

Проведена оценка глубины проникновения азота методом измерения микротвердости на «косых» шлифах. ВИПА приводит к формированию модифицированного слоя глубиной до 100 мкм. У поверхности твердость имеет максимальные значения и плавно уменьшается при удалении от нее. Для нитрида характерны высокие значения твердости, но уже на глубине всего 10 мкм они уже соответствуют значениям твердости термооурочненного сплава до ВИПО. Исследования образцов после комбинированной обработки, как и после азотирования, показали, что глубина модифицированного слоя с повышенной твердостью составляет также 100 мкм.

Таким образом, проведенные исследования показали, что ВИПО позволяет получить модифицированный слой с повышенной твердостью на поверхности образцов из сплава Ti-5553 и не приводит к изменениям структуры внутри образцов. Вакуумное ионно-плазменное азотирование способствует повышению твердости поверхности почти в 1,5 раза за счет формирования азотированного слоя, состоящего из тонкого слоя (TiN, Ti<sub>2</sub>N) и твердого раствора внедрения азота в α и β фазах. Наличие слоя нитрида титана TiN, образующегося на

поверхности после ВИПО, повышает микротвердость в 2 раза по сравнению с состоянием после предварительной упрочняющей термической обработки.

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. Скворцова С.В., Зайнетдинова Г.Т., Гуртовая Г.В., Тевс М.Д. Влияние легирующих элементов на твердость опытных псевдо-β-титановых сплавов // Деформация и разрушение материалов. 2022. № 12. С. 10—16.

## **Перспективы применения фторуглеродной “активной” упаковки в пищевой промышленности**

Щур П.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Основной причиной порчи (ухудшения органолептических свойств – вкуса, запаха и внешнего вида) продуктов питания является жизнедеятельность микроорганизмов, которые существенно снижают срок годности продуктов. Для препятствования внешним воздействиям, способствующим формированию биоплёнок (колоний микроорганизмов) в среде хранения продукта, создаются упаковки из полимерных материалов, обладающих высокими барьерными свойствами [1].

Тем не менее, во многих случаях этого оказывается недостаточно для достижения необходимого уровня защиты от микроорганизмов, поэтому в производстве упаковок прибегают к использованию антибактериальных покрытий. Они позволяют обеспечить долгосрочную антибактериальную защиту и обладают целым рядом антибактериальных воздействий. Фторуглеродная “активная” упаковка (ФАУ) относится к этому методу [2].

Принцип действия следующий: на внутренней поверхности полимерной упаковки создаётся антибактериальное покрытие, которое не даёт размножаться микроорганизмам, что способствует увеличению сроков годности продуктов питания. Преимуществом ФАУ перед существующими аналогами является сочетание всех трёх возможных антибактериальных эффектов: химический состав поверхности – поверхность полимера не является питательной средой для микробиологического агента; рельеф поверхности – расстояние между пиками неоднородности меньше диаметра микробиологического агента, что создаёт недостаточную площадь для соприкосновения микробиологического агента с поверхностью; поверхностный заряд – заряд на поверхности угнетает жизнедеятельность микроорганизмов, и заряженный микробиологический агент отталкивается от одноименно заряженной поверхности [3]. Также ФАУ может применяться не только с твёрдыми веществами, но и с жидкими, на что не способны прочие “активные” упаковки.

В результате проведённых микробиологических исследований выявлено отсутствие роста микроорганизмов на поверхности антимикробных фторуглеродных покрытий на протяжении 12 месяцев. Совместно с ООО “Ува-Молоко” проведены натурные испытания “активной” упаковки, которые показали отсутствие роста микробиологических агентов в упаковках с молочной продукцией и увеличение срока хранения пастеризованного молока более чем в 2 раза (с 10 до 21 дня) по сравнению с используемыми в данный момент упаковками.

К настоящему моменту основная направленность исследований ФАУ была сконцентрирована на молочной продукции, но защита от микробиологических воздействий требуется также и в электронной аппаратуре, в авиации и космонавтике, а в медицине уже была проведена предварительная оценка экспертами, которая подтвердила возможность применения ФАУ для хранения крови и других биологических жидкостей.

Литература:

1. Заживихина Н.А., Колбина Е.Л. Разработка гибкой полимерной упаковки с улучшенными барьерными свойствами//Динамика систем, механизмов и машин. – 2012. – №. 2. – С. 361-365.

2. Elinson V.M., Shchur P.A., Rusanova E.V., Shchelkova V.V. ANTIADHESION FLUOROCARBON COATINGS WITH INDUCED SURFACE CHARGE FOR PROTECTION

AGAINST BIODEGRADATION //High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes.–2023.–T.27.–№.4.–C.33-38. DOI: 10.1615/HighTempMatProc.v27.i4.40

3. Elinson V.M., Shchur P. STUDY OF THE SURFACE OF ANTIMICROBIAL BARRIER LAYERS BASED ON FLUOROCARBON AND CARBON FILMS //High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes.–2022.–T.4.–V.26.–C.11-26. DOI: 10.1615/HighTempMatProc.2022043894

## **9. Экономика и менеджмент предприятий аэрокосмического комплекса**

### **Снижение конфликтности персонала как ключевой инструмент повышения эффективности предприятий**

Алексеева П.А., Тихонов В.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Эффективность предприятия зависит от четкого определения задач перед сотрудниками, взаимодействия должностных лиц и слаженной работы коллектива. Когда люди работают вместе, маловероятно, что они всегда будут ладить между собой. Различия среди индивидов, стили работы, ценности и убеждения – всё может привести к конфликту между сотрудниками. Конфликты на рабочем месте всегда будут. А.Я. Кибанов (доктор экономических наук, профессор) рассматривает конфликт как естественное столкновение разных точек зрения, как способ общения людей с разным видением ситуации.

Предприятия аэрокосмической отрасли – это производственный процесс с высоким уровнем автоматизации. Поэтому для достижения высокого уровня эффективности этих процессов необходима бесконфликтная работа сотрудников. По мнению доктора психологических наук в области психологии бизнеса А. Дурбина, межличностный конфликт – это проявление внутренних качеств сотрудников в конкурентной среде.

Успешная команда должна иметь четкую цель так, чтобы все работали ради общей цели. Двум разным людям, стремящимся к двум разным целям, будет трудно общаться друг с другом, так как каждый из них будет считать себя правым.

Основой всех существующих конфликтов является противоречие, которые возникают между сотрудниками. Снижение уровня конфликтности на рабочих местах можно добиться путем использования научных подходов во время проведения оценки результативности персонала. Различные подходы и стратегии доказали свою эффективность в разрешении конфликтов. Согласно учениям Томаса-Киллмена существует пять способов урегулирования конфликтов: кооперация, избегание, конфронтация, сотрудничество и компромисс. Стил кооперация подразумевает удовлетворение желаний и требований каждого участника конфликта. Когда индивиды выбирают стиль избегание, они избегают конфликтов. Консенсус дает наилучший результат, поскольку он не выявляет проигравших. Решение полностью приемлемо для всех сторон. В ходе компромисса конфликтующие стороны договариваются о золотой середине. Конфронтация – это способ, который выбирают при трудовых спорах и других социальных конфликтах. Участники коллективных трудовых споров стремятся довести разногласия до крайней формы (забастовки). Сотрудничество – это способ разрешения конфликтов, при котором ведутся открытые коллективные обсуждения и достигается удовлетворение интересов конфликтующих сторон.

Вовремя выявить и предотвратить конфликт на ранней стадии – актуальная задача для предприятий.

1. Алексеева П.А., Краев В.М. Актуальные проблемы анализа результатов опросов в больших компаниях // Московский экономический журнал. 2019. No 12. С 92

2. Алексеева П.А., Краев В.М. Современные модели снижения конфликтности персонала предприятий аэрокосмического комплекса // Московский экономический журнал. 2021. No 1. С. 28.

### **Способы перевода независимого причастного оборота в авиационно-технических текстах с английского языка на русский**

Анисова Е.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Специализированная лексика и сложные грамматические конструкции, включая независимый причастный оборот, достаточно часто встречаются в авиационно-технических текстах. Качественный перевод подобных текстов позволит предотвратить множество

ошибок и несчастных случаев. Это обуславливает актуальность исследования способов перевода независимого причастного оборота.

Цель исследования состоит в анализе функционирования независимых причастных оборотов в авиационно-технических текстах на английском языке и способах их перевода на русский язык.

Материалом исследования послужили сайты ведущих авиационных корпораций на английском языке – Boeing, Airbus. Кроме того, были рассмотрены и источники, предоставляющие широкий перечень информации о разных самолетах, их конструкционных и технических особенностях. В ходе исследования были использованы следующие методы: метод словарных дефиниций, описательный метод, метод сплошной выборки. Для проведения исследования методом сплошной выборки было отобрано 50 отдельных предложений, при этом было проанализировано примерно 200 страниц печатного текста.

Было рассмотрено 2 противоречивых исследования. С одной стороны, Г. Ф. Литфуллина в своем исследовании «Причастия как средства выражения одновременности в английском языке» (2023) говорит о том, что независимый причастный оборот выражает разнособъектную одновременность, то есть синхронное выполнение разных действий двумя субъектами. С другой стороны, В. Гу в своем исследовании «The Use of Participles and Gerunds.» (2020) считает, что причастия английского языка не имеют привязки к какому-либо временному периоду, они могут относиться к настоящему, прошлому или будущему и должны интерпретироваться в соответствии с контекстом.

Проанализировав собственный сформированный корпус примеров, можно сделать вывод о том, что наиболее часто независимые причастные обороты выполняют функции обстоятельства в предложении, а в текст они вводятся преимущественно бессоюзной связью, хотя возможно и использование предлогов. В ходе структурного анализа независимых причастных оборотов было установлено, что по признаку позиции в составе предложения преобладают причастные обороты в финальной и начальной позиции, а по форме залога конструкции со страдательным и действительным залогом представлены практически равное количество раз. Анализ показал, что наиболее продуктивной стратегией перевода абсолютной деепричастной конструкции является формирование сложноподчиненного предложения. Следующим по продуктивности является стратегия формирования сложносочиненного предложения. А стратегия формирования деепричастного оборота используется реже всего.

Литература:

1. Бархударов Л.С. Структура простого предложения современного английского языка. – Москва, «Высшая школа», 1966 – 200 с.
2. Калимуллина В.М. Номинативная соотнесенность фразеоматических глагольно-именных словосочетаний и предлогов-идентификаторов. – М., 2004. – 246 с.
3. Смышляева А.Г., Коротун В.Л. Особенности технического перевода. – Москва, Издательство «Перо», 2017.
4. Airbus official site [электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.airbushelicopters.com/techpub/FO/scripts/myFO\\_login.php](https://www.airbushelicopters.com/techpub/FO/scripts/myFO_login.php)
5. Boeing official site [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.boeing.com/>
6. Boeing 737-MAX [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.b737.org.uk/737max.htm>

## **Описание и стандартизация бизнес-процессов в рамках внедрения систем менеджмента**

Ахрамович А.А., Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва, Россия

На данный момент в подавляющем большинстве организаций так или иначе присутствуют сертифицированные системы менеджмента. В рамках сертифицированных систем менеджмента в организациях присутствует библиотека локальных нормативных актов, регламентирующих различные аспекты деятельности организации, чаще всего это стандарты организации, регламенты, методологические инструкции. Данные документы не всегда отражают фактическую деятельность организации, очень часто их создают для выполнения

тех или иных требований международных/национальных стандартов. Такой подход оказывает чрезвычайно губительное влияние на развитие организаций.

В рамках данного исследования разработана следующая методика разработки, внедрения и поддержания в актуальном состоянии системы локальных нормативных актов организации, регулирующих ее деятельность в рамках процессного подхода, которая состоит из следующих шагов:

1. Внедрение процесса исполнительской дисциплины, благодаря чему описание, оптимизация и стандартизация бизнес-процессов будут приняты работниками организации. Настоящий этап состоит из следующих стадий:

1.1. Определение процесса «как есть».

1.2. Оптимизация процесса (определение процесса «как должно быть»): анализ проблем процесса и ограничений по внедрению, выработка решений по процессу «как должно быть», составление и согласование схемы процесса «как должно быть», разработка и согласование форм отчетности.

1.3. Регламентация процесса: описание порядка действий для каждой из ролей процесса, определение ответственных для выполнения функций контроля, определение системы мотивации за невыполнение требований регламента, оформление управленческих решений в регламенте, согласование и утверждение регламента.

1.4. Внедрение процесса: обучение работников новым правилам, передача процесса на постоянный контроль ответственному структурному подразделению.

2. Описание процессов организации и их регламентация:

2.1. Определение внешних входов и выходов организации.

2.2. Привязка полученных входов/выходов к структурным подразделениям организации.

2.3. Определение внутренних входов/выходов для каждого структурного подразделения организации.

2.4. Определение перечня функций, выполняемых в структурном подразделении.

2.5. Распределение функций подразделений по процессам.

2.6. Согласование процессов в единую систему.

3. Выявление проблем процессов и их анализ:

3.1. Сбор информации о проблемах у руководителей структурных подразделений своих процессов и тех, чьими потребителями выходов являются (предшествующих).

3.2. Оценка важности проблемы и сложности её решения.

3.3. Ранжирование проблем по их важности/сложности для определения очереди решения. Составление графика рабочих встреч по проблемам.

4. Оптимизация процессов на основе выявленных проблем:

4.1. Выработка рабочей группой решений проблем, формирование протокола встречи, передача зафиксированных задач на контроль исполнительской дисциплины.

4.2. Внесение изменений в схему процесса, согласование, регламентация (автоматическая выгрузка, например, из программы Business Studio).

5. Написание технического задания на автоматизацию ключевых бизнес-процессов.

6. Автоматизация бизнес-процессов.

Результатом выполнения работ по предложной методике является повышение эффективности выполнения работ, улучшение коммуникации, снижение рисков, гибкость и адаптивность, улучшение управления изменениями, повышение конкурентоспособности.

## **Разработка модели регулирования тарифов в целях повышения эффективности теплоснабжающих организаций**

Бабич Б.П., Пушкарева М.Б.

МАИ, г. Москва, Россия

Одним из новых способов расчета тарифов на тепло, предлагаемых в российских городах, является "альтернативная котельная". Этот метод определяет величину тарифа и устанавливает отношения между участниками рынка тепла. По этому подходу, определяется, что выгоднее – построить собственный источник тепла. В целях расчета цены на тепловую энергию, учитываются затраты на строительство нового источника тепла (альтернативной

котельной), подключение потребителей и его обслуживание. Эта цена является предельным уровнем, по которому теплоснабжающие организации могут продавать тепло потребителям в своей зоне ответственности. Региональная энергетическая комиссия или другой орган тарифного регулирования устанавливает предельный уровень цены на тепловую энергию, а окончательные цены для потребителей согласовываются сторонами и не могут превышать этого предельного уровня.

Размер цены на тепловую энергию рассчитывается для каждого города или зоны теплоснабжения на основе стоимости потенциального альтернативного источника теплоснабжения и позволят снизить тарифы для потребителей. Кроме того, данный метод стимулирует теплоснабжающие организации к эффективному использованию ресурсов и повышению своей конкурентоспособности. Он также упрощает процедуру установления тарифов, устраняет необходимость ежегодного пересмотра цены и устанавливает единую цену для всех производителей тепла. В итоге, переход на метод "альткотельной" позволит оптимизировать работу системы теплоснабжения, повысить эффективность отрасли и обеспечить стабильное и качественное теплоснабжение города на долгие годы.

Обновленная система теплоснабжения будет закреплена в городе независимо от будущих проблем с поставщиком тепла. Последствия таких проблем, таких как порывы на сетях, неожиданные отключения горячей воды и отопления, существенно сократятся. Чем раньше начнутся инвестиции в систему, тем меньше это будет стоить энергетикам и, следовательно, потребителям. Целевая модель рынка тепловой энергии устанавливает тарифы на долгосрочный период (10-15 и более лет), что дает потребителям ясность относительно изменения тарифов в этот период. Переход к новому методу расчета тарифов не является причиной роста тарифов. Тарифы в нашей стране растут ежегодно без внесения этих изменений. Величина изменения тарифа зависит от конкретного населенного пункта - где-то он может возрасти, а где-то, где тариф уже выше предельного уровня, он будет заморожен. Переход к новой модели тарифообразования предполагает повышение ответственности теплоснабжающих организаций. Вместе с устойчивым тарифом они берут на себя обязательства по модернизации системы теплоснабжения, а также полную ответственность за всю цепочку производства и передачи тепловой энергии, включая финансовую ответственность. За нарушения предусмотрены штрафы, а в случае сбоев платежи для потребителей будут снижены. В целом, переход на новую модель должен улучшить работу энергетиков. Они смогут планировать свою работу на многие годы вперед, организовывать работу систематически и эффективно в интересах потребителя, вместо того чтобы заниматься решением мелких локальных проблем, которые требуют много времени, но не дают значительного результата.

### **Анализ проблем нормирования трудоемкости проведения испытаний в организациях ракетно-космической отрасли**

Белоусов Н.А.

АО «Организация «Агат», г. Москва, Россия

Проведение испытаний является неотъемлемым и важнейшим процессом создания ракетно-космической техники (РКТ). Отработка проводится как для космических систем в целом, так и для каждой из составных частей (КА, НКИ и т.д.) и изделий в них входящих, которые, как правило, являются уникальными и имеют существенные отличия друг от друга.

Поскольку испытаниям подвергаются почти все изделия, входящие в состав системы, в организациях ракетно-космической отрасли (РКО) действует широкая классификация проводимых испытаний (более 50 видов испытаний по типу, назначению и т.д.). Более того, некоторые виды испытаний имеют длительный период проведения (более года) или редкую повторяемость – раз в несколько лет. Перечисленные выше факторы, в совокупности с проведением испытаний на различных этапах жизненного цикла разрабатываемой продукции, приводят к сложности учета фактических трудозатрат и последующего нормирования трудоемкости испытаний.

Установление оптимальной величины трудоемкости испытаний является важнейшим условием для корректного расчета стоимости создания перспективных видов РКТ, так как

составляет существенную долю в её составе. Для определения планируемой трудоемкости большинство организаций РКО применяют только два фактора: длительность проведения конкретного вида испытаний, указанную в программе и методике испытаний (ПМИ) и численность задействованных работников. Использование этих факторов не позволяет с достаточной степенью обоснованности определять планируемую трудоемкость проведения испытаний, так как ПМИ не учитывает трудоемкость этапа подготовки к испытаниям, а на момент обоснования цены продукции ПМИ еще не разработано. При этом, таблицы учета рабочего времени и журналы, заполняемые при проведении испытаний, используемые для подтверждения численности задействованных работников, не учитывают их загрузку.

Проводимые в АО "Организация "Агат" исследования в области нормирования трудоемкости испытаний, показывают, что трудоемкость зависит от широкого спектра факторов: количество испытаний в серии, мощность установки для проведения испытаний, тип нагрузки и т.д. Набор факторов, оказывающих влияние на трудоемкость проведения испытаний, отличается в зависимости от вида конкретного испытания. Для более точного определения трудоемкости испытаний необходимо накопление большого объема статистических данных и построение параметрических моделей, учитывающих необходимый и достаточный набор факторов, оказывающих наибольшее влияние на трудоемкость проводимых испытаний.

### **Тактическая и стратегическая целесообразность цифровых двойников БПЛА**

Бобков И.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Для минимизации издержек в процессе производства и сокращения времени разработки БПЛА целесообразно применение их цифровых двойников. Авторами предложен методический подход формирования цифровых двойников на основе применения нейронных сетей, которые обучены на базе данных БПЛА самолетного типа, содержащей сведения об их летных характеристиках и материалах производства их основных компонент. Разработанные нейросетевые модели, главным образом, нацелены на подбор материалов производства компонент авиационной техники с условием обеспечения требуемых летных характеристик.

Сформированное пространство цифровых двойников модели БПЛА может быть проиндексировано при помощи специально разработанных авторами показателей тактической и стратегической безопасности, отвечающими требованиям получения конкурентного преимущества в краткосрочном и долгосрочном периоде соответственно.

Предложенные показатели тактической и стратегической целесообразности основываются на экспертных оценках о значимости изменений летных характеристик БПЛА в целом, материалов производства и конструкции. Также в данные индикаторы заложен показатель сложности обновления производственной базы и подготовки кадров, стоимость этого обновления, возможность финансирования, время обновления, сложность, время и стоимость производства.

Применение нейросетей при выборе материалов и компонент для формирования пространства цифровых соответствует Концепции развития искусственного интеллекта Российской Федерации, а также способствует формирования отраслевого ИИ.

Использование разработанных обобщенных показателей тактической и стратегической целесообразности производства конкретной виртуальной модели БПЛА позволяет выбрать оптимальную конфигурацию опытного образца, а также сократить время проектирования.

### **Система подбора организации высокой надежности при устройстве на работу**

Бондаренко А.В., Бурдина А.А., Бибишева Д.Р.

МАИ, г. Москва, Россия

Современная концепция рынка труда сдвинулась: при трудоустройстве приоритетное право выбора отведено соискателю, а не работодателю. Перед выпускниками ВУЗов стоит непростая задача выбора места работы. Из большинства вакансий необходимо отобрать наиболее приоритетные с минимальной потерей времени и сил. Стоит отметить, что на

рынке труда много обмана: в вакансиях отражается ложный уровень зарплаты, информации об обязанностях, условиях труда. Не всегда можно найти даже официальные сведения о работодателе. Часть приглашений на вакансию влечет за собой траты в форме «покупки» обучающих курсов, программных продуктов с обещанием будущего трудоустройства.

Подход выпускника ВУЗа при подборе работодателя должен основываться на принципах: единства ценностей соискателя и организации, вакансия отвечает требованиям надежности и безопасности. Надежность и безопасность работодателя с позиции соискателя можно рассматривать в разрезе личностных факторов и факторов среды. К факторам среды следует относить производственную специфику организации и систему труда. Данные факторы соискатель не всегда может увидеть при устройстве на работу. А вот личностные факторы более прозрачны. Данные сведения можно собрать с использованием ресурсов сети Интернет.

Оценка соискателем работодателя — это система мероприятий и критериев, которая позволяет при подборе работодателя на основе принципов надежности и безопасности оценивать риски трудоустройства. Соискатели должны иметь возможность знакомства со следующими сведениями организации, которые могут выступать качественными критериями системы оценки: – наличие публичной финансовой отчетности (возможность расчета показателей финансовой устойчивости, банкротства, рентабельности); – миссия и цели организации; – социальная ответственность; – кадровая политика; – отношение к персоналу, условия труда (переработки, кабинет, нормы) (интернет отзывы сотрудников); – условия приема на работу (трудовой договор, чистая/серая з/п); – наличие вакансий на текущий момент; – уровень заработной платы; – организационное обучение в сообществах практиков; – возможность отправить резюме.

Оценка проводится на основе балльно-рейтинговой системы. Значимость каждого фактора и его балл определяется соискателем индивидуально. Данная система отражает качество и безопасность предлагаемой вакансии. Апробация системы проводилась с привлечением двух групп выпускников кафедры 505 МАИ. В рамках объекта исследования рассматривались более 30 компаний. Выпускники высокие оценки присвоили таким работодателям как ENERCON, ОАО «Газпром», ОАО «АвтоВаз», ОАО «ЭФКО», Сбербанк РФ. Остальные же компании, по их мнению, обладают низкой надежностью.

Литература:

1. Андруник А.П. Кадровая безопасность: инновационные технологии управления персоналом: Учебное пособие / А.П. Андруник. – 2-е изд. – М. Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2020. – 508 с.
2. Мелик-Асланова Н.О.К., Левантовский Д.Б. Конкурентоспособность и бенчмаркинг. В сборнике: Научное знание как фактор общественного развития. Материалы Международной научно-практической конференции 1. Белгород, 2023. С. 41-43.
3. Москвичева Н.В., Ильенко Д.Ю. Система ключевых индикаторов эффективности персонала как инструмент управления кадровой безопасностью предприятия. РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2023. № 1. С. 61-68.
4. Nikolenko T.Y., Semina L.V. Risk assessment in the economic analysis of innovative projects. Russian Engineering Research. 2022. T. 42. № 4. С. 430-433.

### **Механизм коммуникативной стратегии продвижения авиационной компании «Азимут» на транспортный рынок**

Бубнов В.В., Дубинина Н.М.  
МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность исследования заключается в необходимости изучения опыта создания коммуникативных стратегий организаций как эффективного комплекса действий, направленного на взаимодействие между целевыми аудиториями и организацией, что формирует и поддерживает конкурентные преимущества организации.

Цель. Проанализировать механизмы формирования коммуникативной стратегии продвижения авиационной компании «Азимут».

Метод исследования. Для достижения цели был проведен научный анализ коммуникативной деятельности организации.

В ходе исследования выявлено, что коммуникативная стратегия – это совокупность всей информации, многофункциональная система, схема коммуникативного поведения или план, включающий ряд способов для достижения целей в коммуникации.

Авиакомпания «Азимут» – молодой участник транспортного рынка, создана в 2017 году. Позиционирует себя как «Новое лицо» авиации Юга России, подчеркивая на сайте широкую маршрутную сеть, позволяющую связывать регионы, минуя Москву, сокращая транзит. Особо подчеркиваются такие преимущества организации как «возможность воспользоваться перелетом по доступным ценам, путешествие в самолетах Сухой Суперджет 100, интегрирующих лучшие решения современного авиастроения». В публикациях компании прослеживается идея – «Азимут» ориентируется на безопасность, доступность, профессионализм, качество, ответственность, уважение к пассажирам, сотрудникам и партнерам. Такое позиционирование создает маркетинговый механизм коммуникативной стратегии «Азимута», формируя конкурентные преимущества на транспортном рынке в сознании потребителя.

Креативный механизм коммуникативной стратегии «Азимута» был разработан агентством «Asgard». Реализованы сочетания цветов, представляющие концепцию брендинга на рынке транспортных услуг. Цветовое решение представлено в дружелюбных, ярких цветах, благодаря которым бренд излучает энергию (сочетание синего – море, голубого – небо и оранжевого – тепло и гостеприимство).

Медийный механизм. Авиакомпания «Азимут» ведет интуитивно понятный сайт, активно взаимодействует с пассажирами на страницах социальной сети «VK», издает журнал, взаимодействует со СМИ, проводит кобрендинговую политику на рынке транспортных услуг совместно с Минэкономразвития и агентством по развитию туризма Ростовской области.

Вывод. Продуманное использование механизмов коммуникативной стратегии «Азимутом» обеспечивает компании образ динамично развивающейся фирмы, повышая ее конкурентоспособность на рынке транспортных услуг.

### **Исследование взаимосвязи ценового фактора и объёмов выпуска продукции авиастроения**

Бурдин С.С., Бородина Н.А.  
МАИ, г. Москва, Россия

Проведён анализ концепций влияния на экономику изменения издержек, в том числе транзакционных издержек предприятий, которые влияют на экономические действия промышленных производственных структур. При повышении издержек предприятия как правило принимают решение о повышении цен на свою продукцию. Существует множество подходов, которые объясняют влияние издержек на принятые производственные решения: эффект дохода, эффект замещения, внешнеэкономические факторы, отток капитала, влияния теневой экономики, осуществление государственных инвестиций и т. п.

В исследовании разрабатывается инструментарий для обоснования разной степени влияния на инфляцию и стагнацию экономики роста издержек в высокотехнологичных и иных отраслях.

I этап. Цифровое моделирование спроса. На основании аналитической зависимости спроса и издержек на продукцию предприятия авиастроения была определена целевая функция прибыли для каждого изделия.

II этап. Исследование поведения производителей в высокотехнологичных и иных отраслях в условиях санкционно-ресурсных ограничений. Произведено нейросетевое моделирование данного процесса.

III этап. Построение зависимости объемов выпуска высокотехнологичной (иной продукции) и цен при изменении издержек для обоснования разной степени влияния на инфляцию и стагнацию экономики роста издержек в высокотехнологичных и иных отраслях.

Используя данные для различных уровней издержек авиационных предприятий в исследовании получена зависимость выпуска и уровня цен на продукцию. Интерпретируя результаты моделирования обосновано, что функциональная зависимость коррелирует с гипотезой А. Лаффера, который толковал уменьшение поступлений в бюджет как следствие снижения деловой активности из-за уменьшения доходов по причине увеличения затрат на налоги.

Анализируя результаты моделирования влияния на инфляцию и стагнацию экономики роста издержек в высокотехнологичных и иных отраслях, можно сделать вывод о наличии экономических причин – при увеличении издержек оптимизируются объемы выпуска в сторону снижения для получения максимальной прибыли при новом уровне издержек. Что циклически ведет к более высокому повышению цен на выпускаемую продукцию не высокотехнологичных отраслей (например, услуги).

1. Букач Б.А. Обоснование и анализ различных вариантов графической интерпретации кривой Лаффера //Вестник СевНТУ. Серия экономика и финансы. 2012. Вып. 130. С. 30–38.

2. Какаулина М.О. Графическая интерпретация кривой Лаффера с учетом налоговой «миграции» //Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. 2017. Том 16. № 3. С. 336–356

3. Beets Z. The Shifty Laffer Curve //Federal Reserve Bank of Atlanta. Economic review. 2000. Vol. 85, No. 3. P. 53–64

4. Gutmann P. The Subterranean Economy // Financial Analysis Journal. 1977. Vol. 33, No. 6. P. 26–34

5. Henderson D. Limitation of the Laffer curve as a justification for tax // Cato Journal. 1981. Vol. 1, No. 1. P. 45–52.

6. Kazman S. Exploring the Laffer Curve: Behavioral Responses to Taxation. UVM Honors College Senior Theses, 2014. 76 p.

#### **Актуализация гражданской позиции студентов — будущих PR-специалистов в аэрокосмической отрасли средствами иностранного языка**

Варламова Е.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность темы обусловлена необходимостью сформированности качеств, характеризующих выпускника как лингвокультурную личность, способную принять на себя профессиональную ответственность за представление России перед мировым сообществом в сфере аэрокосмонавтики, с одной стороны, и с другой стороны, недостаточной разработанностью основ языковой подготовки будущих специалистов по рекламе и связям с общественностью (PCO) в аэрокосмической сфере, с учетом позиции личности как гражданина России.

Цель работы – выделение направлений образовательной деятельности по актуализации гражданской позиции студентов – будущих специалистов по PCO в аэрокосмической сфере в языковой подготовке.

Предмет – осознанная гражданская позиция будущего специалиста по PCO в аэрокосмической отрасли.

Теоретико-методологической основой работы являются исследования в области лингводидактики (И.Б. Ворожцова, Н.Д. Гальскова и Н.И. Гез [2], А.Д. Гарцов, Р.К. Миньяр-Белоручев, др.), организации образовательного процесса на основе межкультурной коммуникации в высшей школе (Е.В. Воевода [1], Л.П. Костикова, Е.Н. Малюга, Е.И. Пассов и Н.Е. Кузовлева, С.Г. Тер-Минасова, др.), профессионального воспитания (Л.В. Мардахаев [3]).

Гражданская позиция выпускника технического вуза основана на следующих составляющих: 1) осознанности – сформированности знаний о специфике сферы профессиональной деятельности (аэрокосмической отрасли) в своей стране; 2) мотивационно-ценностное осуществление профессиональной деятельности с позиции гражданина России; 3) профессиональных действиях, с принятием ответственности за представление своей страны в мировом сообществе средствами иностранного языка.

Для решения задачи по выявлению особенностей проявлений данных компонентов у будущих специалистов по РСО в аэрокосмической отрасли на основе их самооценки был проведен опрос 35 студентов 3-4 курсов МАИ.

Анализ накопленного научного и методического опыта, результатов проведенного опроса позволили выделить направления образовательной деятельности в языковой подготовке будущих специалистов по РСО в аэрокосмической отрасли:

- Разработка содержания языковой подготовки студентов, с учетом специфики аэрокосмической отрасли и особенностей профессиональной деятельности в данной отрасли специалиста по РСО на основе его гражданской позиции;

- Реализация разработанного содержания в образованном процессе технического вуза на основе комплексного подхода, предусматривающего: а) взаимодействие отраслевых кафедр; б) профессиональное воспитание, с воздействием на сознательную, мотивационно-ценностную и поведенческую сферы личности как гражданина России.

Вывод. Языковая подготовка будущих специалистов по РСО в аэрокосмической отрасли имеет специфику в направленности образовательной деятельности, осуществляемой с учетом особенностей отраслевой подготовки в техническом вузе и необходимостью профессионального воспитания личности как гражданина России.

Литература:

1. Воевода Е.В. Профессиональная подготовка студентов международного профиля к межкультурной коммуникации: лингвосоциокультурные и психологические аспекты. Монография. – М.: Перспектива. – 2019. – 198 с.

2. Гальскова Н.Д., Гез Н.И. Теория обучения иностранным языкам. Лингводидактика и методика. – М.: Академия, 2006. – 336 с.

3. Мардахаев Л.В. Профессиональное воспитание в стимулировании профессионально-ориентированной социализации студентов в педагогическом вузе // ЦИТИСЭ. – 2019. – № 1(18). – С. 9.

### **Адаптация дидактического материала при разноуровневом обучении аэрокосмической лексике**

Власова С.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность данного исследования состоит в важности выбора оптимального учебного материала при обучения иностранному языку (ИЯ) специальности в техническом вузе в условиях разноуровневого обучения.

Гипотеза работы состоит в предположении о повышении уровня овладения аэрокосмической терминологией на базе актуализации дидактического материала.

Объект исследования: индивидуализация обучения профильному ИЯ.

Предмет исследования: обновление методического материала по аэрокосмической лексике для разноуровневого обучения ИЯ специальности.

Цель исследования: анализ эффективности адаптированного учебного материала при работе с группами разного уровня владения ИЯ.

Изучение научных трудов Ю.К. Бабанского, В.И. Загвязинского, А.Л. Пумпянского, Б. Климзо выявляет важность социальной обусловленности индивидуализации обучения, продуктивность личностно-ориентированного подхода.

В процессе исследования была проведена апробация дидактического материала (в печатном и электронном виде) для актуализации инженерной лексики при отработке грамматических навыков в группах уровня А1/А2; систематизация графического материала для автоматизации терминологии; обновление видеоматериалов инженерной тематики для групп В1/В2.

Результаты показали, что использование карточек, для изучения терминологии (в том числе, и в электронном виде) дало развитие речевых способностей в профессиональном ИЯ студентов групп В1/В2, но уровням А1/А2 изучение словаря специальности дается сложно. Однако, слабым группам был эффективен дидактический материал в виде схем, таблиц для формирования орфографических навыков и рационализации языкового материала.

Видеофрагменты при самостоятельной работе студентов групп В1/В2 улучшили качество систематизации знаний. Группам А1/А2 были предложены скрины видео с субтитрами, что повысило мотивацию студентов и снизило психологический барьер перед изучением лексики по видеоматериалам.

Проблемами стали низкий уровень владения ИЯ студентами групп А1; отсутствие языковой профессиональной практики для групп В2; резкое увеличение времени преподавателя на подготовку дидактических материалов.

Практическая значимость работы состоит в предложенных путях обновления учебно-методического материала при разноуровневом изучении лексики специальности.

1. Загвязинский В. И. Теория обучения: Современная интерпретация. — М.: Издательский центр «Академия», 2001. — 192 с.

2. Зубанова С.Г., Ошкова В.А. Особенности научно-исследовательской работы студентов института иностранных языков в авиационном вузе: к вопросу о сочетании научной и воспитательной работы. Мир науки, культуры, образования. 2023. № 2 (99). С. 21–25

3. Kapustina, D.M. Philosophical understanding of the concept of success and its modern interpretation by students of a technical university. Perspektivy Nauki i Obrazovania, 2021, 50(2), страницы 118–129

4. Korotaeva, I., Chuksina, O. Perspectives on the improving language education: The case of Moscow aviation institute. Universal Journal of Educational Research, 2020, 8(8), страницы 3392–3397

5. Sergeeva, M.G., Belova, D.N., Nikolaeva, M.V., Suslennikova, E.E. Designing method for educational environment in the system of continuous pedagogical education. Opcion, 2020, 36(Special Edition 26), страницы 504–522

6. Seth, Arjit & Redonnet, Stephane & Liem, Rhea. (2023). A Multidisciplinary Computational Framework for Aerospace Engineering Education. IEEE Transactions on Education. 1-10. 10.1109/TE.2023.3281825.

### **Конкурентоспособность как фактор обеспечения экономической безопасности организаций авиационной отрасли**

Герашенко Н.Н., Чигирева Ю.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В современных экономических условиях, когда российские высокотехнологичные предприятия активно подвергаются внешним и внутренним угрозам, остро стоит вопрос об обеспечении экономической безопасности предприятия для его эффективного функционирования и достижения поставленных целей. Одной из таких угроз является потеря конкурентоспособности. Эта проблема особенно актуальна с учётом высокой конкуренции на рынке и стремительного развития технологий, которые позволяют совершенствовать уже имеющиеся продукты/услуги и создавать новые.

В настоящее время одной из целей развития авиастроения в России является стоит разработка, производство и продвижение беспилотных авиационных систем (БАС). Проанализировав авиационную отрасль, был выявлен ряд преимуществ беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) над самолетами:

- Решение большого ряда задач: БПЛА могут использоваться повсеместно: от обычных домашних целей до военных.
- Сравнительно небольшая площадь для взлета и посадки.
- Высокая мобильность: возможность применения в труднодоступных районах, где невозможно или экономически невыгодно использовать самолеты.
- Меньше затрат на создание и эксплуатация.
- Снижение риска угрозы жизни человека за счет управления без человека на борту.

В связи с вышеперечисленным, предлагается повышение конкурентоспособности организаций авиационной отрасли за счет развития и продвижения БАС. Задача эффективного продвижения БАС – создание и развитие сети малой авиации, авиаперевозок пассажиров и грузов параллельно с поездами, машинами. Предлагается создать транспортную аэромобильную систему, которая будет способствовать решению

транспортной проблемы в России, а также развитию авиационной отрасли. Для развития беспилотных авиационных систем и их внедрения на всей территории России потребуется большое количество специализированных площадок. Учитывая незначительные условия для взлета, посадки и обслуживания БПЛА, строительство площадок для них будет недорогостоящим. Авиакомпаниям, аэропортам в данном проекте необходимо занять новую нишу – строительство и обслуживание площадок для БАС, создание инфраструктуры аэровокзалов. Таким образом, повышение конкурентоспособности, а следовательно, и экономической безопасности организаций авиационной отрасли будет обеспечено за счет развития нового направления в транспортной системе страны.

1. Распоряжение Правительства РФ от 21 июня 2023 г. № 1630-р «Об утверждении Стратегии развития беспилотной авиации РФ на период до 2030 г. и на перспективу до 2035 г. и плана мероприятий по ее реализации»;

2. Горбашко Е.А., Управление конкурентоспособностью: учебник для вузов / Е. А. Горбашко [и др.]; под редакцией Е. А. Горбашко, И. А. Максимцева. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2023. — 427 с.

3. Седукова, К.К. Управление рисками как элемент системы обеспечения экономической безопасности предприятия / К.К. Седукова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 21 (259). — С. 255-257

### **Проблемы, препятствующие развитию аэрокосмической отрасли**

Григорова К.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Аэрокосмический комплекс является одной из ключевых отраслей экономики, играющей важную роль в обеспечении безопасности и технологического развития страны. Однако, несмотря на ее значимость, существует ряд проблем, препятствующих ее развитию.

Одной из главных проблем является высокая стоимость разработок и производства авиационной и космической техники. Это связано с необходимостью использования передовых технологий и материалов, а также с большими затратами на научные исследования и разработки. Кроме того, многие предприятия отрасли зависят от импорта технологий и комплектующих, что делает их уязвимыми перед колебаниями валютных курсов и политическими рисками.

Решение проблемы высокой стоимости разработок и производства может быть найдено в развитии инноваций и внедрении новых отечественных технологий. Также необходимо стимулировать инвестиции в отрасль, в том числе со стороны частного сектора.

Еще одной проблемой является управление проектами в аэрокосмической сфере. Здесь важно учитывать множество факторов, таких как риски, ресурсы и качество продукции. Необходимо разрабатывать и применять эффективные методы и подходы к управлению проектами, которые будут учитывать специфику отрасли и позволят снизить риски и повысить качество продукции.

Также стоит отметить, что для успешного развития аэрокосмической отрасли важно обеспечить подготовку квалифицированных кадров. Необходимо развивать образовательные программы и научные исследования в этой области, привлекать молодых специалистов и обеспечивать им условия для профессионального роста.

Таким образом, для успешного развития экономики и менеджмента предприятий аэрокосмического комплекса необходимо решать ряд проблем. Важно стимулировать инновации и привлекать инвестиции, а также улучшать управление проектами, учитывая специфику отрасли. Только так можно обеспечить успешное развитие аэрокосмического сектора и его вклад в технологическое лидерство страны.

## **Повышение результативности процесса управления интеллектуальной собственностью на предприятии**

Гришаева С.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Научно-техническое творчество – необходимое условие обеспечения интеллектуального суверенитета России сегодня. При этом ежегодно драматически сокращается количество российских заявок на изобретения (2020 год – 23759 шт., 2021 год – 19569 шт., 2022 год – 18970 шт.) [1], что говорит о недостаточном уровне научно-технического творчества в нашей стране.

По данным Роспатента в структуре патентования изобретений 2022 года самая большая доля приходится на ВУЗы (32,2 %), второе место занимают компании (27,6 %), на третьем – физические лица (24,4 %), оставшаяся доля приходится на НИИ (15,8 %) [1]. Задача всех участников рынка интеллектуального капитала – взять ориентир на разработку и защиту собственного продукта. Как результат – вырастет выдача охранных документов на интеллектуальную собственность (ИС). Технологии станут тиражироваться и приносить прибыль, а не пылиться на полках разработчиков. При этом важно, чтобы данный процесс был результативным и управляемым.

Российские изобретения – путь к импортозамещению и обретению интеллектуального суверенитета России, что делает актуальной тему повышения результативности патентной деятельности актуальной как в рамках страны, так и в системе менеджмента отдельно взятого предприятия.

Для достижения цели повышения результативности процесса управления интеллектуальной собственностью на предприятии необходимо решить следующие задачи:

1. Применить процессный подход в сфере патентования, выделив процесс управления интеллектуальной собственностью как объект управления в системе менеджмента качества;

2. Применить требования стандарта ISO 9001:2015 (ГОСТ Р ИСО 9001-2015) [2] к данному процессу;

3. Определить деятельность на стадиях цикла PDCA, относящуюся к управлению интеллектуальной собственностью предприятия.

Функциональный подход в системах менеджмента является устаревшим и не приносит нужных управленческих результатов. Э. Деминг в своей книге «Выход из кризиса» сформулировал одну из аксиом современного управления так: «Любая деятельность может рассматриваться как технологический процесс и поэтому может быть улучшена» [3]. Становление патентной службы предприятия должно быть тесно связано с актуальным процессным подходом по стандарту ISO 9001:2015 «Системы менеджмента качества. Требования». Это позволит взять под управление данную сферу деятельности предприятия и повысить её результативность.

Литература:

1. Сайт Роспатента (Федеральной службы по интеллектуальной собственности) [Электронный ресурс]: статистические и аналитические материалы, отражающие основные итоги деятельности Роспатента и подведомственных организаций в 2022 году. — Электрон. дан. (1 файл). — М., [2023]. — Режим доступа: [annual-report-2022-short-version.pdf](https://annual-report-2022-short-version.pdf) ([rospatent.gov.ru](https://rospatent.gov.ru)) — Загл. с экрана.

2. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования»

3. Выход из кризиса [Текст]: новая парадигма управления людьми, системами и процессами / Эдвардс Деминг; пер. с. англ. [Ю. Адлер, В. Шпер]. - 6-е изд. - Москва: Альпина Паблишер, 2014. - 416 с.

## **Развитие цифровых экосистем в сфере авиационных пассажироперевозок**

Давыдов А.Д., Даудов В.Г., Горохова С.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Цифровые экосистемы активно развиваются в различных сферах. Зарубежные компании рассматривают их как определенный этап своего становления, который влияет на рост уровня капитализации. Ставится цель реструктуризации бизнеса, которая направлена на

создание единой системы согласованных продуктов. В отечественной практике этот подход менее распространен. Однако для повышения конкурентных преимуществ ИТ-компаниям целесообразно пересмотреть свою политику в данной области.

По результатам проведенного SWOT-анализа цифровых экосистем, было выявлено, что в первую очередь необходимо развивать сильные стороны, заключающиеся в создании позитивного образа для потребителей и привлечения, в связи с этим, дополнительного дохода. Однако также необходимо искать новые возможности для своего развития. Анализ имеющегося зарубежного опыта позволяет адаптировать полученные знания для дальнейшей проработки и реализации на отечественных рынках, прежде всего в области авиационных пассажироперевозок.

Предлагается сценарий развития экосистем – адаптация продукта под отечественные пассажирские авиаперевозки в интересах обеспечения непрерывного использования сервисов цифровых экосистем. В сценарии определены роли авиационного перевозчика и разработчика экосистемы, предложен организационно-экономический механизм его реализации.

Для выявления у пассажиров наличия потребности в использовании цифровых экосистем в течение полета был проведен репрезентативный опрос. Респондентам были заданы 6 вопросов, ответив на которые можно было получить его оформленное мнение. Было получено и обработано более 100 ответов респондентов различных возрастов и профессий. Вопросы касались тематических аспектов пассажирских авиационных перевозок: возможности времяпровождения пассажиров на борту ВС, частота пользования воздушным транспортом, отношение опрашиваемых к цифровым экосистемам. По результатам опроса квалифицированное большинство заинтересовано в появлении возможности использовать сервисы цифровой экосистемы на борту самолета. Таким образом, предлагаемый сценарий, несмотря на наличие инженерно-технических ограничений, является актуальным, а его реализация может быть экономически эффективной.

### **Формирование имиджа российской космонавтики PR-средствами**

Демиденко С.Е.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность темы определяется необходимостью формирования положительного имиджа отечественной космонавтики как одной из областей, в которой Россия является одним из мировых лидеров. Деятельность по формированию имиджа отечественной космонавтики ведется в разных аспектах: международное взаимодействие в сфере освоения космоса, сотрудничество в создании космической техники, продвижение имиджа ведущих специалистов космической отрасли и др. Космическая отрасль и её достижения становятся неотъемлемой частью экономического, военного и политического развития государства, в которой особенно наглядно проявляется престиж государства, его сила и уровень влияния на мировой арене.

Цель исследования – выявить особенности формирования имиджа космонавтики PR-средствами.

Предмет исследования – имидж Госкорпорации «Роскосмос», как организации, которая обеспечивает реализацию государственной политики в области космической деятельности и её нормативно-правовое регулирование, размещает заказы на разработку, производство и поставку космической техники и объектов космической инфраструктуры.

Описание исследования: для выявления особенности формирования имиджа космонавтики PR-средствами в медиaprостранстве был проведен контент-анализ СМИ за 2022 и 2023 гг. По данным Интерфакса Госкорпорация Роскосмос заняла 4 место по итогам медиарейтинга крупных российских компаний за 2022 год. Самыми известными и цитируемыми инфоповодами стали: выход России из проекта МКС после 2024 года, выход в космос российской космонавта Анна Кикиной (аспирантки МАИ) в совместном проекте с американцами в Спэсе X, выход фильма «Вызов», первого фильма, снятого в космосе, а также запуск космического проекта «Луна-25».

По результатам контент-анализа упоминания ГК «Роскосмос» в топовых СМИ, таких как РБК, Известия, Комсомольская правда, Московский Комсомолец, за 2023 год всего было 1158: из них положительных – 465; негативных – 391; нейтральных – 302.

Таким образом, проведенный контент-анализ СМИ позволили сделать следующие выводы: Госкорпорация «Роскосмос» активно освещает свою деятельность в СМИ и на официальных интернет-ресурсах; что свидетельствует о стремлении к прозрачности и информированности общественности; отмечается высокий уровень интереса к космическим программам и достижениям Роскосмоса со стороны российской аудитории, что подтверждает важное значение космической отрасли для общества и его восприятие; среди недостатков выделяют ограниченность информации о научных исследованиях и разработках, а также недостаточную активность в социальных сетях.

Для формирования положительного имиджа российской космонавтики необходимы эффективные коммуникации с общественностью, освещение научных достижений и использование современных PR-средств, не только по информационному сопровождению деятельности в космической отрасли, но и для создания положительного имиджа выдающихся деятелей в космической сфере, формирования образов победителей, создание условий вхождения образов российской космонавтики в структуру патриотического сознания социальной общественности. Данная проблема многогранная, многоаспектная, имеет перспективное развитие.

Литература:

1. Захарова С.Е., Зыбкин В.Г. Психология авиакосмического PR-а – новое направление психологии «публик рилейнз» // Интернет-журнал «Мир науки», 2018 №1, <https://mir-nauki.com>.
2. Медиарейтинг компаний 2022 год | СКАН-Интерфакс ([scan-interfax.ru](http://scan-interfax.ru)).

### **Терминологические неологизмы в авиакосмической терминисистеме современного английского языка (на материале авиакосмических текстов)**

Денисова О.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность работы объясняется тем, что в ней осуществляется системное рассмотрение процессов и способов образования терминологических неологизмов в авиационно-космической терминисистеме современного английского языка. Материалом исследования послужили специальные англоязычные авиакосмические тексты, из которых методом сплошной выборки были выделены терминологические неологизмы. Общий объем выборки составил 201 единицу. Практическая значимость работы заключается в составлении электронного англо-русского словаря терминов-неологизмов авиационно-космической тематики. В рамках исследования анализу подвергаются специальные термины сферы авиакосмических технологий, используемые для описания авиационно-космических процессов и приспособлений, а также различных летательных аппаратов. В рамках отобранного материала были выделены следующие типы терминов-неологизмов: лексические неологизмы, представленные новыми словами – ROBOpilot – роботопилот; семантические неологизмы, имеющие новые значения уже существующих лексем - Alpha – космический корабль альфа; Beta – ракета-носитель Бета. Количественный анализ отобранного материала указывает на преимущественное преобладание лексических терминов-неологизмов. Их количество достигает 88%, в то время как семантические неологизмы составляют 12%. Такие результаты исследования объясняются тем, что в современном английском языке наиболее продуктивными являются морфолого-синтаксические способы создания новых авиационно-космических терминов. По типу структуры компонентов сложных терминологических неологизмов можно выделить следующие группы: сложные слова, образованные из простых основ – downlink линия связи «борт- Земля»; сложнопроизводные единицы eye-hoisting – космический корабль, srapenik – космонавт. Стяжение также используется при создании терминов авиационно-космической направленности: helipad – helicopter landing pad – вертолётная площадка; Volocopter – vehicles + helicopter – двухместный мультикоптер. Кроме того, можно выделить сокращения,

образованные различными способами: собственно-инициальные графические аббревиатуры GEN H-4 – ультралегкий вертолет соосной схемы; гибридные термины STOL-port – аэродром для самолетов с укороченным пробегом; термины-символы C 4 (Cyclone 4 Program) – программа «Циклон-4».

Наиболее продуктивными способами терминообразования авиационно-космических неологизмов являются морфологический, синтаксический, лексико-семантический. Менее продуктивным является способ заимствования в авиакосмической терминосистеме современного английского языка.

Литература:

1. Гринев-Гриневиц С.В. Терминоведение / С.В. Гринев-Гриневиц. – М.: Академия, 2008.
2. Девнина Е.Н. Большой англо-русский и русско-английский авиационный словарь / Е.Н. Девнина. – М.: Живой язык, 2011
3. Марасанов В.П. Англо-русский словарь по гражданской авиации. 24 000 терминов / В.П. Марасанов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Скорпион-Россия, 1996. – 560 с.
5. Мурашкевич А.М. Англо-русский словарь по авиационному оборудованию и бортовым системам. 45 000 терминов. В двух томах / А.М. Мурашкевич. – М.: НВК-Инвест, 2003. – 1249 с.
6. Crocker D. Dictionary of Aviation / D. Crocker. – L.: A&C Black Publishers Ltd, 2007/
7. New Scientist – URL: <https://www.newscientist.com/article-topic/space-flight/7>.

### **Модернизация системы управления персоналом предприятия авиационной промышленности**

Довгопол Д.В., Тихонов А.И., Шапошников Е.С.  
МАИ, г. Москва, Россия

Авиационная промышленность – является самой передовой отраслью России, которая постоянно меняется, появляются инновационные разработки, которые необходимо испытывать и внедрять. В связи с этим отрасль постоянно находится в состоянии обновления: модернизации и реформирования. Государственная программа развития авиационной промышленности ставит конкретные задачи для отрасли, соответственно и для персонала предприятия. Перед департаментом по управлению персоналом ставятся сложные цели развития и обучения персонала, управления карьерой и талантами для повышения эффективности и производительности сотрудников. В условиях санкционных ограничений и ограниченности ресурсов грамотное исполнение функции управления персоналом – одно из важнейших задач руководителей для сохранения высококвалифицированного персонала, а также уменьшения издержек. Также в условиях модернизации перед персоналом предприятия ставятся новые требования и задачи по развитию для следования трендам рынка и отрасли.

В этой связи одним из важных направлений работы с персоналом становится повышение материальной и нематериальной мотивации персонала, а именно: повышение заработной платы и развитие программ обучения необходимым компетенциям. Исходя из современных требований работа организации невозможно без использования современных информационных технологий. Уровень цифровизации растет, поэтому к сотрудникам предъявляются новые требования к знаниям, умениям и навыкам. Помимо цифровых компетенций к сотруднику предъявляются требования в области социальных: высокая стрессоустойчивость, коммуникабельность, развитие эмоционального интеллекта, самоорганизации и самоуправления и проч.

Задачи модернизации и преобразований всегда будут одними из самых трудных для топ-менеджмента предприятий, так как в процессе инноваций всегда встречаются сопротивления среди сотрудников, нежелание переходить на новые методы работы и использование новых инструментов, поэтому необходимо начинать работу с совершенствования корпоративной культуры предприятия для повышения управляемости сотрудников. Вопросы модернизации захватывают весь спектр функционала управления персоналом. Модернизация является сложным, объемным по времени и финансово затратным процессом. Несмотря на это, без

проведения изменений в управлении авиационная промышленность не сможет развиваться, что подтверждает значимость проведенного исследования.

Литература:

1. Пронина В.А., Федулов В.А. Автоматизация всех процессов управления человеческими ресурсами как основной тренд 2023 года // Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России. 2023. №4. С. 86-89.

2. Кербер Л.С., Тихонов А.И. Повышение аналитической грамотности в контексте hr-функции компании // Управление человеческими ресурсами – Основа развития инновационной экономики. Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 2023. С. 61-63.

3. Просвирина Н.В., Тихонов А.И., Ермаков А.А. Бизнес-планирование в авиационной отрасли. М.: Издательство "Знание-М", 2023. 138 с.

### **Реализация функций коммуникативной PR-деятельности авиационной компании «Аэрофлот – российские авиалинии» в социальной сети «VK»**

Дубинина Н.М., Бубнов В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность исследования. Интенсивное развитие социальных сетей и увеличение количества пользователей существенно повышают их роль в информационно-коммуникационном пространстве. Социальными сетями в России пользуются более 106 млн человек (73,3% населения страны). По данным пресс-службы «VK» число пользователей составляет – 91 млн человек (85,85% пользователей Интернета в России).

Цель исследования изучить реализацию функций PR-деятельности авиакомпании «Аэрофлот – российские авиалинии» в социальной сети «VK».

Для достижения поставленной цели было проведено медиаисследование коммуникативной PR-деятельности авиакомпании «Аэрофлот» за сентябрь 2023 г.

В ходе проведенного медиаисследования установлено, что, используя социальную сеть «VK», «Аэрофлот» информирует клиентов о маршрутах (10 публикаций), программах стимулирования сбыта (9 сообщений), социальных акциях и программах (2), стандартах авиакомпании, визуализирует процесс оказания услуг (10). Информационная коммуникационная деятельность, реализуемая на странице «VK», позволяет создать положительный имидж компании и поддерживать интерес к ней, сформировать осознанную потребность в ее услугах.

Публикации «Аэрофлота» в ленте на странице в «VK» способствуют формированию у клиента цели обращения к услугам компании, например, сэкономить, повысить безопасность, комфорт перелета. Материалы, представленные в ленте, ярко демонстрируют профессиональные действия сотрудников компании; визуализируют результаты оказания услуг через информирование, например, о новых международных полетах с видами пунктов прилета и пр. Это позволяет сделать вывод об успешной реализации в PR-детальности коммуникативной функции целеполагания.

Отвечая на вопросы клиентов в сети «VK», сотрудники компании реализуют консультативную функцию PR-деятельности.

В ответах компании на сообщения пользователей в «VK» «Аэрофлот» разъясняет миссию, философию организации, реализуя защитную коммуникативную функцию PR-деятельности.

В ходе изучения комментариев пользователей «VK» специалисты изучают экспрессию клиентов, что позволяет осуществлять контрольную функцию коммуникации.

Вывод. Анализ публикаций «Аэрофлота» в «VK» подтверждает, что в них реализуются такие функции коммуникативной деятельности, как информационная, целеполагания, консультативная, контрольная, защитная функции, позволяя донести до клиента уникальное торговое предложение, сформировать позитивное отношение к организации, создавая спрос на ее услуги.

## **Мотивация персонала предприятий авиационной индустрии в условиях существенного увеличения объема производства**

<sup>1</sup>Ермаков А.А., <sup>1</sup>Соловьев В.М., <sup>2</sup>Евстратов С.В.

<sup>1</sup>МАИ, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ПАО «РКК «Энергия», г. Королев, Россия

Сложившаяся на сегодняшний день геополитическая обстановка обусловила ряд проблемных вопросов, с которыми столкнулись предприятия авиационной индустрии. Одной из наиболее актуальных проблем следует обозначить дефицит кадровых ресурсов. За непродолжительный промежуток времени предприятия ОАК, функционирующие до этого при действующей, как правило, плановой загрузке производственными заказами и объемами выпускаемой продукции, перестраиваются под новые заданные, значительно повышенные показатели по выпуску изделий.

Низкая конкурентоспособность предприятий авиационной индустрии в сегменте среднего уровня заработной платы работников (особенно ярко выраженной в ИТ специальностях) по отношению к предприятиям частного сектора, сформировала дефицит квалифицированных кадров, что особенно остро проявило себя в существующих условиях. Мгновенно возросшие нагрузки на рабочий персонал и ИТР, заключающиеся в повышенном количестве выполняемых операций за рабочую смену, негативно сказываются как на физическом, так и на моральном состоянии работников.

Ограниченный механизм стимулирования работников предприятий авиационной индустрии, связанный с соблюдением требований по ежегодной индексации основной заработной платы, с применением коэффициентов, регулярно доводимых Минэкономразвития России, не может, в полной мере, позволить премировать работников, соразмерно количеству успешно выполненных ими операций. Учитывая сложившееся дефицитное количество кадров рабочих и инженерных специальностей на рынке труда, привлечение новых квалифицированных специалистов, подразумевает определенные временные затраты, которые не совместимы с требуемыми сроками исполнения ГосОборонзаказа (ГОЗ).

Действенным инструментом решения данной проблемы предлагается использовать привлечение основного персонала организации авиационной промышленности для работы в выходные и праздничные дни, в соответствии со ст. 113, 153 Трудового Кодекса РФ. Также предлагается использовать дополнительные возможности сверхурочных работ, в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 01.08.2022 г. № 1365. При применении данных организационно-экономических механизмов соблюдается обоюдная заинтересованность как работника, так и работодателя. Работодатель, организуя фактически непрерывный цикл производства продукции, распределяя имеющийся трудовой ресурс с обязательным соблюдением требований ТК РФ, минимизирует риски невыполнения требований по обеспечению ГОЗ. Мотивация работников предприятия заключается в соблюдении обязанности работодателя по оплате сверхурочно отработанных часов, не менее чем в двойном размере. Для предотвращения риска физического изматывания работников, и как следствие, возникновения предпосылок к риску изготовления бракованной продукции, не соответствующей требованиям Конструкторской Документации (КД), суммарная переработка не может превышать дополнительных 4-х часов в рабочий день. Данные механизмы не могут являться решением проблемы конкурентоспособности в сегменте заработной платы предприятий авиационного комплекса, относительно предприятий коммерческого сектора, в долгосрочной перспективе, но существенно эффективен в данный период и позволяет наиболее эффективно использовать трудовой потенциал организаций.

Литература:

1. Просвирова Н.В., Тихонов А.И., Ермаков А.А. Бизнес-планирование в авиастроении. Учебное пособие. М.: Знание-М, 2023. – 138 с.

## Проблемы экономического спада предприятий аэрокосмической отрасли

Ермолаева Е.Н., Липгарт А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Аэрокосмическая промышленность сегодня сталкивается с множеством трудностей. Одной из главных проблем является отставание производства от мировых тенденций. Несмотря на хороший задел, который остался на от прошлого, мировые конкуренты опережают нас в технологическом развитии. К этим проблемам прибавляются финансовые трудности, отсутствие опытных специалистов и снижение объёмов заказов на продукцию отрасли.

Существует множество решений данной проблемы, которые могут использовать предприятия. Каждая компания ищет лазейки, продумывает маркетинговые стратегии, чтобы привлечь внимание к своему товару. Это один из многих способов удержания компании «на плаву», который, при качественной подаче и стратегии, достаточно быстр в получении результата. Конечно, на краткосрочном прибыль возрастёт, но со временем интерес к производимому товару уменьшится и придётся внедрять инновации и передовые технологии для повышения прибыли. Одного маркетинга недостаточно, чтобы прибыль компании возрастала. Необходимо использовать одновременно несколько способов для роста прибыли предприятия.

- 1) Постоянный мониторинг поставщиков сырья.
- 2) Внедрение программ по автоматизации производства.
- 3) Внедрение программы учёта доходов и расходов компании с удобным интерфейсом (чтобы наглядно видеть доходы и расходы компании).
- 4) Максимальное использование ресурсосберегающих технологий.
- 5) Введение системы тотального управления качеством на предприятии.

Литература:

1. Уваров Д. Н. Вестник ОНЗ РАН, т. 13, NZ1003 <https://doi.org/10.2205/2021NZ000370> Геофизический центр РАН 2021 г.

2. Чернова П. Сравнительный анализ уровня и направления развития космической промышленности России и США за 2011–2015 гг. // Научный альманах. — 2016. — № 18. — с. 288—291. — DOI: 10.17117/na.2016.04.01.288.

## Мягкая сила как способ привлечения иностранных капиталов в экономику страны

Ермолаева Е.Н., Ким А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В современном мире все большее значение получают информационные технологии. Ключевые битвы ведутся не на полях сражений, а в новостных лентах, социальных сетях. Факты из-за информационного шума проходят через искажение множественных восприятий, тонут в потоке интерпретаций, в том числе через призму различных идеологий. На первый план выходят технологии манипулирования общественным сознанием. В мире, где новость живет один день, пользователям некогда разбираться в правдивости историй, поэтому вход идут шаблоны и стереотипы, формирующиеся под действием мягкой силы. Так же она формирует марку и ожидания у потребителей о товарах, произведенных в определенной стране. Таким образом, люди предпочтут продукцию из того государства, которое зарекомендовала себя, как специалист в её производстве, благодаря чему страна может расширить рынок сбыта.

Термин «Soft Power» (можно перевести как «мягкая сила», «гибкая власть», «мягкое влияние») был введен Джозефом Наем в 90-е годы XX века, означает он комплекс внешнеполитических методов и инструментов, предполагающих способность влиять на другие государства и добиваться желаемых результатов через сотрудничество и формирование положительного образа стороны влияния.

Мягкая сила позволяет распространять культуру своей страны, её язык, влияет на мнение иностранных граждан на те или иные действия со стороны других государств.

Также необходимо отметить влияния мягкой силы на экономику. К примеру, BTS приносит \$3,6 млрд в год Южной Корее (по оценке конца 2018 года). В целом, по подсчетам

Международной социально-экономической лаборатории, индустрия k-pop генерирует \$10 млрд ежегодно.

Если говорить о России, к началу 2000 года по-прежнему сохраняется значительный потенциал мягкой силы на мировой арене. По данным ЮНЕСКО на 2010 год Россия занимает 7-е место в мире по количеству иностранных студентов. В 2007 году был основан фонд «Русский мир», который поставил своей целью популяризацию и изучение русского языка и культуры по всему миру. К 2013 году в 41 стране было открыто 90 центров «Русского мира». Подобную работу ведет и Российский центр науки и культуры (РЦНК), с акцентом на совместные научные изыскания, обмен техническим опытом и культурным достоянием. РЦНК проводит различные выставки и концерты, направленные на привлечение внимания к современной русской науке и искусству. В завершении, хотелось бы отметить, что распространение русской культуры на Западе может протекать достаточно успешно ввиду огромного исторического наследия страны.

Проанализировав все вышеперечисленное, можно сделать некоторые выводы. Во-первых, страны стремятся показать свою культуру с интересной и привлекательной стороны. Во-вторых, распространение языка очень важно, так как людям, знающим один и тот же язык, почти ничего не мешает общаться. Это благотворно сказывается на экономическом, научном, культурном сотрудничестве. В-третьих, продвижение образования и науки, через которые можно не только распространять свою культуру и язык, но и показать уровень технических достижений страны, что, безусловно, положительно отразится на ее имидже.

Литература:

1. Погорлецкий А. «Мягкая сила» и экспортный потенциал России в несырьевых секторах экономики. Мировая экономика и международные отношения, 2021, т. 65, No 3, с. 102-110;
2. Лебедева М.М. «Мягкая сила»: понятие и подходы. Вестник МГИМО-Университета. 2017;(3(54)):212-223.

### **Формирование нравственных качеств студентов технических специальностей в гуманитарной среде авиационного вуза**

Журбенко Н.Л., Садовская М.Л.

МАИ, г. Москва, Россия

Часто технические вузы ассоциируются с недостаточной гуманитарной подготовкой студентов. Роль гуманитарных кафедр в техническом вузе нельзя недооценивать, так как кроме формирования компетенций по предмету, они выполняют важную воспитательную функцию, участвуют в формировании личностных качеств будущих специалистов. Формирование личностных качеств в авиационном вузе играет особую роль, учитывая стратегическое значение авиационной отрасли для страны. Студенты получают определённые знания, а также перенимают нравственные ценности и понятия - о добре и зле, о счастье и несчастье, о вере. Постоянное совершенствование подходов к формированию личностных качеств студентов обуславливает актуальность исследований направленных на совершенствование методических подходов к воспитательной работе в вузе авиакосмической отрасли.

Нравственные понятия можно рассматривать как вектор поведения. Нравственные убеждения появляются, когда понятия проходят через личное осмысление и переживание, и превращаются в потребность человека действовать. Педагогические теоретические исследования, направленные на интеграцию воспитательных аспектов в процесс обучения, всегда актуальны. Целью нашего исследования является создание методических рекомендаций преподавателям иностранных языков о способах реализации развития нравственных качеств студентов в рамках иноязычного образования в техническом вузе. Исследование проводилось методом теоретического анализа литературы и педагогического опыта. Мы проанализировали существующие способы и возможности, и предложили подходы для технических вузов. Мы предположили (гипотеза нашего исследования), что интегрирование процесса воспитания в образовательный процесс с учетом специфики технической специальности студентов может стать обеспечить выполнение воспитательных задач вуза без ущерба для образовательной деятельности.

Спецификой предмета "Иностранный язык" в техническом вузе является то, что преподаватель должен так выстроить занятия, чтобы умело сочетать профессионально-ориентированные обучающие и воспитательные компоненты. При планировании каждого занятия следует ориентироваться на воспитательный потенциал учебного процесса. Среди используемых и рекомендуемых способов интеграции воспитательного компонента в учебный процесс могут быть названы следующие: групповое взаимодействие (обучение в малых группах сотрудничества студентов различного уровня сформированности языковых умений); проблемное обучение; использование культуроведческого аспекта, соответствующий подбор дополнительных иноязычных учебных материалов; поощрение активной познавательной жизненной позиции студентов во внеурочное время, соответствующая организация самостоятельной работы.

В рамках нашего исследования мы планируем определить предпочтения студентов для того, чтобы сделать обучение иностранным языкам более лично-ориентированным, но отвечающим нашим воспитательным целям.

Процесс нравственного воспитания в рамках иноязычного обучения в авиационном вузе существует и является неотъемлемой частью учебного процесса и важным условием для формирования гармоничной личности студента.

### **О внутренних кадровых перемещениях**

Загидуллин Р.С., Матвеев В.А., Родионов Н.В.

Самарский университет, г. Самара, Россия

Трудно представить дальнейшее динамичное развитие отрасли без притока новых хорошо подготовленных кадров. Космическая сфера привлекает к себе внимание молодых соискателей своей безусловной инновационностью и романтикой, тая в себе много интересных задач и будущих открытий.

К сожалению, на крупных предприятиях ракетно-космической отрасли часто возникает случай, когда молодые перспективные специалисты после трудоустройства остаются не удовлетворены своей деятельностью [1, 2]. Причин может быть, много начиная от личного отношения с коллегами до несовпадений реальности кадровой позиции с представлением насчёт неё до трудоустройства. Столкнувшись с этими проблемами, молодой перспективный специалист, не имея представления о других возможных местах работы на этом предприятии просто уходит из отрасли. Чувство карьерной безысходности также могут испытывать и опытные специалисты, проработавшие на предприятии несколько лет и "выбравшие" свой весь возможный карьерный рост в своем подразделении.

Но ведь и для развития предприятия в целом важно чтобы работники трудились на тех местах, которые максимально раскроют их потенциал. Несмотря на это в текущей ситуации на многих крупных предприятиях ракетно-космической отрасли переход с одного подразделения в другое достаточно сложный процесс, требующий от соискателя активных действий по поиску и систематизации информации о различных подразделениях с дальнейшим не всегда удобным для соискателя выходом на переговоры с руководителем желаемого подразделения. Зачастую, зайдя в профессиональный тупик, специалисты просто увольняются с предприятия.

В вышеуказанных ситуациях возникает потребность в использовании своего рода кадрового инструмента, систематизирующего анкеты уже трудоустроенных, но желающих попробовать себя в другом подразделении соискателей, и анкеты имеющихся вакансий различных подразделений. Научные исследования по данному направлению, проектирование и внедрение такого кадрового инструмента могло бы дать больше возможностей специалистам пробовать себя на различных позициях, а предприятиям получить большую производительность от удовлетворённых своей работой специалистов.

Литература:

1. Загидуллин Р.С., Капустин А.И. Кадровые проблемы наукоемких отраслей промышленности // Основы экономики, управления и права. 2020. № 6. С. 29-31.

2. Загидуллин Р.С., Капустин А.И. Молодые ученые как источник появления высокотехнологичной продукции на предприятиях ракетно-космической промышленности // 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 2020. С. 852-853.

### **Новации в языке аэрокосмической медицины**

Зайцева А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность исследования обусловлена развитием общего терминоведения, необходимостью изучения новых отраслевых терминосистем и установления тенденций их развития; потребностями терминологической лексикографии в фиксации, нормализации и кодификации новых отраслевых терминов и понятий [1]. Цель исследования – анализ неологических процессов в современном языке аэрокосмической медицины (далее – АМ). Предмет исследования – выявление наиболее продуктивных способов терминообразования в терминологии АМ. Материал исследования - термины, полученные методом сплошной выборки из научной, учебной и словарной литературы по АМ: например, монография “Fundamentals of Aerospace Medicine” [2], словарь “Taber’s Cyclopedic Medical Dictionary” [3] и др. Общий объем выборки составил 1000 ед. Методология исследования базируется на авторитетных трудах по терминоведению. Так, в частности, работы С.В. Гринева-Гриневица [4] сформировали представление о современном понимании термина. Когнитивный анализ терминов проводился с учётом исследований Е.В. Бекишевой [5] и др. При анализе неологических процессов мы опирались на работы Н.В. Козловской [6], Т.В. Левановой [7] и др. Настоящее исследование выполнено в русле частного терминоведения. Основными методами исследования стали семантический, когнитивный и функциональный. Результаты исследования: установлено, что большинство терминов АМ имеют в своей основе английский язык, и это обусловлено экстралингвистическими причинами; соответствующие русскоязычные термины образуются путём калькирования, транскрипции, транслитерации или фонетико-морфологической модификации исходного англоязычного термина; термины греко-латинского происхождения представлены ассимилированными классификациями; основными способами терминообразования в языке АМ являются привлечение, транстерминологизация и аббревиация. Практическая значимость исследования: определены тенденции развития терминологии АМ; выявлены основные способы терминообразования; зафиксированы новые термины АМ и их определения для дальнейшего создания отраслевого терминологического словаря; сформулированы рекомендации по переводу англоязычных терминов АМ на русский язык.

Литература:

1. Зайцева, А.С. Терминологии новейшего времени: структурно-функциональный аспект / А.С. Зайцева. – М.: Перо, 2020. – 172 с.
2. Fundamentals of Aerospace Medicine. 5th edition / Jeffrey R. Davis, MD., editor. – Philadelphia: WKL, 2021. – 878 p. – ISBN 978-1975143855.
3. Taber’s Cyclopedic Medical Dictionary. 24th edition. – Philadelphia: F.A. Davis, 2021. – 2784 p. – ISBN 978-1719642859.
4. Гринева-Гриневиц, С. В. Ещё раз к вопросу об определении термина / С. В. Гриневиц, Э. А. Сорокина, М. А. Молчанова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Теория языка. Семиотика. Семантика. – 2022. – Т. 13. - №3. – С. 710-729.
5. Бекишева, Е.В. Репрезентация типов многозначности в медицинском дискурсе: на материале русской и греко-латинской медицинской терминологии / Е.В. Бекишева, О.М. Рылкина // В сб.: Филологическая проблематика в системе высшего образования. – Самара, 2023. С. 17-22.
6. Козловская, Н.В. Неологизмы-прилагательные с иноязычными основами в современном русском языке / Н.В. Козловская, А.С. Павлова А.С. // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2020, № 6 (99). – С. 117-129.
7. Леванова, Т.В. Новое в неологии: тематическое поле пиар / Т.В. Леванова, Ю.В. Сложеникина, А.В. Растягав. – М.: Тандем, 2020. – 203 с.

## **Оперативный контроллинг производственной системы в управлении промышленным предприятием**

Захарова Л.Ф., Черницын А.Е.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальной задачей экономики является совершенствования управления производственными системами промышленных предприятий.

Ключевыми областями совершенствования должны стать наиболее значимые в современных условиях сферы стратегического и оперативного управления. Сложность процессов принятия управленческих решений в этих сферах обусловлена возрастающими объемами информации, её динамичностью, многообразием, не структурированностью, высокой неопределенностью. В связи с этим лицу, принимающему решение, всё труднее ориентироваться в ситуации, быстро принимать правильные решения, работать на упреждение, предвидев возможные внутри и внесистемные изменения.

Для принятия решения руководителю нужна систематизированная, релевантная, агрегированная, проанализированная и интерпретированная информация, относящаяся к той задаче или проблеме, которую нужно решить. При этом он должен знать и понимать критерии и условия, в которых принимается решение, возможные альтернативы и последствия принятого решения. Для обеспечения руководителя такой информацией в условиях высокой неопределенности работы современных предприятий необходима специально подготовленная информационная база, выполняющая роль не только сбора, хранения, но и специальной обработки информации под решение возникающих проблем. В идеале такая информационная система по своей сути сродни техническому контроллеру – управляющему устройству, работающему по принципу обмена сигналами с другими устройствами, выполняющему операции сбора, обработки сигналов и выдачи управляющих воздействий управляемому физическому объекту, осуществляя автоматическое управление этим объектом. В области экономики и менеджмента термин «контроллер» относится к работнику, осуществляющему контроллинг. В отличие от технического понимания теория организационно-управленческого контроллинга имеет значительное разнообразие трактовок понятия «контроллинг», что свидетельствует о сложности достижения его конечной цели на объектах социально-экономической природы. Анализ практики функционирующих систем контроллинга на отечественных предприятиях показал, что эта деятельность ограничивается, как правило, системами управленческого учета, контроля и бюджетирования, что существенно сужает возможности контроллинга. Особенно проигрывает оперативный контроллинг.

В работе предлагаются подходы к созданию службы оперативного контроллинга на примере механообрабатывающих цехов серийного авиастроительного предприятия, основанные на алгоритмах теории нечетких множеств.

Литература:

1. Асланова И.В. MES как основа разработки систем управления производственными процессами предприятия//Российское Предпринимательство. – 2017. - Т. 18, №11. - с. 1651-1658
2. Колесников С.Н., Бармакова А.Х. Актуальность пропорциональной системы А. Родова для современного бизнеса // Логистика сегодня. — 2021. — №3. — С.208–213
3. Контроллинг в экономике, организации производства и управлении: сборник научных трудов XI международного конгресса по контроллингу, (Нижний Новгород 20 мая 2022 г.) / под научной редакцией д.э.н., профессора С.Г. Фалько / НП «Объединение контроллеров». – Москва: НП «Объединение контроллеров», 2022. – 203 с.
4. Сысоева Е.В. Современное оперативное управление производством в организации // Инновации и инвестиции. – 2019. №3 – с.121-125
5. Кондратенко С.С., Сидельников В.И. Обоснование необходимости создания и внедрения MES-системы на предприятии// Инновационная наука. – 2020. – №6, с.49-50

## Разработка инструментария оценки кадровой безопасности предприятия авиационной отрасли

Ильенко Д.Ю.

МАИ, г. Красногорск, Россия

В условиях повышенной неопределенности, во многом связанной с противоречивостью процессов, протекающих как в российской, так и мировой экономике, важнейшее значение приобретает задача обеспечения кадровой безопасности как одной из основных компонент устойчивого развития предприятия. Актуальность темы исследования обусловлена сложившимися проблемами с кадровым резервом в промышленности, что отмечают работодатели и официальные представители органов власти. Дефицит кадров достиг максимальных значений с 1996 года, количество вакансий увеличивается, соискатели становятся все более требовательными в отношении заработной платы.

Правительство считает кадровый голод главным внутренним вызовом для экономики, из-за демографии, мобилизации и отъезда людей обострились кадровые проблемы в совершенно разных отраслях экономики, в том числе и в авиационной промышленности. В опубликованном в сентябре докладе Банка России о состоянии региональной экономики приводятся данные, что 60% предприятий сообщили о нехватке персонала. При этом, согласно официальным данным, уровень безработицы снизился до исторического минимума в 3% [4]. Из-за дефицита кадров работодатели вынуждены поднимать зарплаты: 75% опрошенных повышали денежное вознаграждение своим сотрудникам в 2023 году [1].

Последствия управленческих решений в сфере кадровой политики влекут за собой внешние и внутренние угрозы экономической безопасности предприятий: рост издержек, как следствие, цен на продукцию, услуги, риск снижения конкурентоспособности, замедление экономического роста [2]. Для макроэкономики очевидные последствия связаны с инфляционными процессами, вызванными ростом доходов, цен на продукцию, расширением потребительского спроса при снижении предложения на рынке [3].

Целью исследования является разработка инструментария оценки кадровой безопасности отраслевого предприятия в рамках системы управления рисками и поддержания уровня экономической надежности. Задачи исследования: всесторонний анализ состояния трудовых ресурсов в стране по регионам, отраслям, видам экономической деятельности; обоснование значимости кадрового риск-менеджмента в современных условиях ведения хозяйственной деятельности; классификация внешних и внутренних кадровых рисков, декомпозиция рисков; разработка структуры формирования мониторинга кадровой безопасности на разных этапах жизненного цикла сотрудника в компании; разработка системы показателей оценки кадровой безопасности.

Результаты исследования обладают практической значимостью, так как разработанная автором система показателей оценки кадровой безопасности, представляет собой универсальный инструментарий, позволяющий контролировать уровень кадровой безопасности, своевременно выявлять триггеры, прогнозировать сценарии развития событий, принимать управленческие решения, сглаживающие негативные последствия рисков.

Литература:

1. <https://hh.ru/article/31716>.
2. Бурдина А.А., Москвичева Н.В. Оценка экономической безопасности в процессе создания холдинговых структур. Монография. – М.: Изд-во «Доброе слово и Ко», 2021. – 160 с.
3. Ильенко Д.Ю., Москвичева Н.В. Система ключевых индикаторов эффективности персонала как инструмент управления кадровой безопасностью предприятия // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. - 2023.- №1. - С.61-69.

## **Учет аксиологических особенностей кросс-культурной коммуникации в процессе преподавания английского языка в МАИ**

Искандарова О.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность темы обусловлена расширением современного информационно-коммуникативного пространства благодаря развитию компьютерных технологий и укреплению межкультурных связей, способствующих необходимости эффективного взаимодействия в международном сообществе. Цель исследования – выявить пути и средства для изучения национальных особенностей жителей стран изучаемого языка и их восприятие времени и пространства. Гипотеза исследования: если знакомить студентов в процессе обучения иностранному языку в вузе с информацией об особенностях национальных норм поведения культуры изучаемого народа и вводить эти знания на занятиях, связанных с ведением заседания при проведении научных конференций и написанию аннотаций с использованием клише, то эффективность международного взаимопонимания иноязычной профессиональной коммуникативной компетентности может повыситься. Традиционно, в большинстве Российских технических вузах английский язык преподается, как трансляция информации о грамматике и подборке текстов, связанных со специальностью, а также с обще-познавательной тематикой. На особенностях англоязычного менталитета, как правило, не останавливаются. Практика показывает, что студентам необходимо знакомить и с особенностями культуры общения страны изучаемого языка. Сюда же включаются такие понятия, как обычаи, традиции, нравы, привычки. Как мы знаем, такие фундаментальные понятия, как пространство, время, объем и скорость передаваемой информации, воспринимаются различными нациями по-своему [1]. Отношение к личному пространству заметно различается в зависимости от разных культур. У британцев личное пространство значительное и они поддерживают во время общения определенную дистанцию, кроме рукопожатия. Если же вы случайно нарушили "личное" пространство другого человека, надо извиниться. Причины такого отношения к пространству кроются в религиозных, культурных и историко-географических особенностях развития этих наций. Национальный менталитет закладывается с детства, на занятиях преподаватель занимается только лексикой, грамматикой и постановкой произношения, но об ошибках культурного характера скорее всего просто не сообщит. Выводы: таким образом, сущность эффективной коммуникации заключается в умении реагировать на реплики адекватно ситуации, избегая при этом прямой конфронтации следует отметить, что для англоязычной культуры такое умение обходить острые углы, недоговаривать, не называть вещи своими именами считалось признаком воспитанности, хороших манер, тогда как прямые вопросы "в лоб" в Present Simple расцениваются как излишнее любопытными и бестактными. Так же как односложность, приводящая к неловкой паузе, и воспринимается как дурной тон. Следует отметить, что чрезмерная лаконичность односложных ответов, грозящая повлечь за собой неловкую паузу, может восприниматься как проявление дурного тона. Так, согласно традициям британской воспитанности, не рекомендуется резко выражать свою точку зрения, что может быть воспринято как вторжение в личное пространство и бестактность, также следует избегать вопросов о личных доходах, стоимости приобретенных покупок, возрасте и семейном положении [2]. Эти знания об этикете позволят избежать недопонимания.

Литература:

1. Кузьменкова Ю Б Изд: Титул, 2001 г.Сер: Англ язык Подробнее: <https://www.labirint.ru/books/51376/> 2.Mikes G. How to De an Alien. Penguin Books,1986.

## **Формирование системы управления инновационной деятельностью в холдинговых компаниях оборонно-промышленного комплекса**

Карбовская В.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время применение инструментов инновационного развития холдинговыми компаниями оборонно-промышленного комплекса (далее – ОПК) является важным драйвером для снижения импортозависимости и повышения конкурентоспособности

отечественной продукции на глобальном рынке. В обеспечение достижения этой цели необходимо решение следующих барьеров:

- Отсутствие централизованной структуры управления инновационным развитием в холдинговых компаниях ОПК.

- Отсутствие необходимых механизмов инновационного развития, а также длительные сроки внедрения и формализации новых процедур, связанное с бюрократически-консервативным стилем управления.

- Нехватка ресурсов на инновационную деятельность, так как инновационное развитие характеризуется высокой степенью неопределенности, а в холдинговых компаниях ОПК преимущественно преобладает операционный характер деятельности.

В ходе проведенного анализа методов решения указанных барьеров и формирования системы управления инновационной деятельностью были определены:

- Структура системы управления инновационной деятельностью холдинговой компании ОПК и функции ее ключевых участников, куда должны входить ответственные за управление инновационной деятельностью по функциональным направлениям и «инновационные офисы».

- Ключевые механизмы инновационного развития для последующего внедрения и формализации, такие как «Управление запросами на инновации», «Управление инвестициями в инновационную деятельность», «Управление уникальными технологическими компетенциями».

- Инструменты планирования инновационной деятельности дополнительные источники, направленных на определение стратегических направлений деятельности и распределение ресурсов между ними.

### **Совершенствование подготовки специалистов в системе СПО для предприятий авиакосмической отрасли региона**

Каршанов И.Ф., Дикова Ф.А.

УУНиТ, г. Уфа, Россия

Для производства высокотехнологичной промышленной продукции одной из главных задач является обеспечение кадрами предприятий авиакосмической отрасли региона.

Социально-экономическая ситуация в стране, изменения в системе образования привели к увеличению количества студентов, выбирающих обучение в средних профессиональных образовательных организациях (СПО). На сегодняшний момент профессиональное обучение в системе СПО действует в рамках рыночных механизмов и определяется оплатой потребителями образовательных услуг, что приводит к дисбалансу между спросом и предложением на квалифицированные кадры. Анализ прогнозирования потребностей рынка труда показывает, что необходимо проводить научные исследования с целью оценки положения дел в системе СПО, прогнозирования потребностей предприятий региона в условиях цифровой трансформации экономики.

Важнейшей задачей системы СПО является совершенствование подготовки современных кадров, поэтому в первую очередь необходимо обеспечение практической подготовки, подведение содержания и методик обучения к технологиям производственного процесса.

Практико-ориентированный подход в обучении предполагает сетевую реализацию образовательных программ, согласование с предприятиями учебных планов. Совместное обучение с предприятиями интересно и СПО, и будущим выпускникам, которые выбирают отраслевую специфику образования, имеют возможности стипендиальной поддержки предприятий и гарантированное трудоустройство, делает выпускников востребованными на предприятиях за счет профессиональной компетентности. В век стремительно развивающихся технологий специалисту необходимо уметь формировать компетенции самостоятельно.

Для подготовки специалистов предложена классификация моделей обучения на основе разделения по типу обучения, признакам применения практико-ориентированного подхода, дополнительным компетенциям, знаниям и подготовке, по финансированию обучения. Подготовка будущих сотрудников предприятий начинается с 1 курса, а программы

обучения, профориентационная работа формируются совместно с ведущими предприятиями региона: ПАО «ОДК –УМПО», АО «УППО», АО «УАПО», НПА «Технопарк авиационных технологий и другими. Используется особая система найма, когда будущие сотрудники начинают работать еще студентами.

В исследовании экономических процессов большой вклад вносят системы моделей рынков труда и образовательных услуг с применением агент-ориентированного подхода [1], которые позволяют прогнозировать потребности с учетом сценарных вариантов экономической и кадровой политики. На этой основе проводится имитационное моделирование, которое дает возможность получить набор возможных стратегий, оценить степень их влияния и выбрать наиболее оптимальный сценарий воздействия на формирование трудовых ресурсов предприятий авиакосмической отрасли региона.

Литература:

1. Гайнанов Д.А., Мигранова Л.И. Модель взаимодействия экономических агентов региональных рынков образовательных услуг и труда и оценка сбалансированности рынков // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support ITIDS'2015. – 2015. – С. 199-204.

### **Повышение эффективности управления персоналом авиационного предприятия за счёт применения технологий HR-аналитики**

Кербер Л.С., Тихонов А.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Эффективное управление человеческими ресурсами имеет решающее значение для успеха авиационного предприятия. При этом до сих пор зачастую наблюдается ситуация, когда традиционные процессы, основанные на ручном и бумажном документообороте, ложатся на плечи HR-команд, снижая их стратегическое значение. Внедрение HR-технологий все чаще рассматривается как важнейшее средство оптимизации управления персоналом и повышения его эффективности.

Программное обеспечение и системы управления персоналом автоматизируют повторяющиеся административные задачи, такие как ведение учета, распространение внутренних политик, управление отпусками и начисление заработной платы. Функционал электронного рекрутинга позволяет оптимизировать процесс подбора персонала за счет подачи заявок, отбора и отслеживания кандидатов в режиме онлайн. Системы отслеживания кандидатов позволяют упорядочить данные о соискателях, упростить коммуникацию и мгновенно обновлять статус. Технологии в сфере онбординга позволяют эффективно обрабатывать документацию по новым сотрудникам, согласовывать порядки и правила и обеспечивать автоматизацию выплаты заработных плат.

Платформы управления эффективностью работы обеспечивают постановку целей, постоянную обратную связь, оценку результатов работы и повышение квалификации. Функции анализа данных позволяют извлекать полезную информацию из данных о сотрудниках для принятия решений и прогнозирования результатов. HR-приложения и порталы самообслуживания позволяют сотрудникам получать доступ к необходимой информации и выполнять такие операции как подача заявлений на отпуск и заполнение больничных листов в цифровом виде.

Автоматизация рутинных операций позволяет HR-специалистам уделять больше времени таким приоритетным задачам, как кадровое планирование, развитие компетенций сотрудников, и вовлечение персонала. Таким образом, оптимизируется и усиливается стратегический вклад HR-функции в деятельность авиационного предприятия.

Облачные системы управления персоналом также обеспечивают удобный доступ к информации и обмен данными между подразделениями, что позволяет наладить бесперебойную совместную работу. Интеграция со смежными корпоративными системами, такими как финансовая, обеспечивает целостную аналитику в масштабах всей организации. Централизованное хранение данных повышает безопасность и соответствие нормативным требованиям.

Внедрение HR-технологий, как и других инноваций, требует инвестиций и может вызывать ряд трудностей. Однако преимущества перевешивают первоначальные сложности в части внедрения инноваций. Исследования показывают, что цифровые HR-процессы повышают производительность труда более чем на 20% и снижают затраты более чем на 15%.

Таким образом, HR-технологии являются важнейшим инструментом эффективного и перспективного управления персоналом. Они позволяют предприятиям оптимизировать работу, расширять возможности сотрудников, получать данные и обеспечивать стратегическое функционирование HR. Автоматизация рутинных задач приводит к повышению производительности, вовлеченности, аналитическому принятию решений и улучшению бизнес-показателей. Таким образом, внедрение HR-технологий является важным шагом для предприятий, стремящихся оптимизировать управление человеческим капиталом.

### **Текстовые данные открытой печати как источник представлений об авиационной промышленности в России в 2022 году**

Климов А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Развитие корпусной лингвистики оказало значительное влияние на все подходы к изучению общественных событий. Корпус представляет собой массив текстового материала, ранее доступного только большим группам исследователей, теперь же благодаря инструментарию этих дисциплин можно извлекать и изучать значительные объёмы данных.

В этой работе мы предлагаем рассмотреть некоторые подходы корпусной лингвистики на материале статей, опубликованных в открытой печати в 2022 году и связанных с авиационной промышленностью России.

Актуальность этой задачи определяется выбранным периодом: в начале 2022 года Россия вступила в период специальной военной операции, столкнулась с санкционным давлением, его преодолением и успешной перестройкой экономики. В последние годы лингвисты активно занимались работой, связанной с изучением новостных текстов и их прикладной пользы. Например, в работе Прокудиной И.С. и Шиловой Г.Г. (2023) рассматривались новостные тексты как источник материала русского языка как иностранного, однако наблюдается нехватка масштабной аналитики СМИ при помощи методов корпусной лингвистики, и тем более аналитики, связанной с авиационной сферой.

Цель нашей работы — проследить изменение отношения и настроения авторов статей об авиации в российских СМИ. Методология исследования. Применялись методы статистики, а также некоторые методы обработки естественного языка: тематическое моделирование, извлечение коллокаций (статистически устойчивых сочетаний лексем; Коптев 2014), анализ тональности (Семина 2020) и некоторые другие. Такой подход имеет большую практическую пользу: совмещая возможности современных информационных технологий и лингвистическую экспертность, можно изучать изменение общественных настроений, отслеживать эволюцию общественного дискурса, а также получать дополнительные педагогические преимущества в виде списков наиболее употребимых слов или устойчивых конструкций, специфичных для исследуемой области.

Результаты (выводы по исследованию):

1. Была собрана тысяча статей с новостных сайтов РБК, Известий, Коммерсанта, Росавиации.

2. Были составлены частотные списки лексем и коллокаций, соответствующие области авиации.

3. Были выделены темы с помощью методов тематического моделирования (Blei 2009) и проведён анализ тональности (Семина 2020). Этот метод позволил ежемесячно отследить наиболее значимые темы (нехватка комплектующих, техобслуживание, санкционное давление), отследить изменение настроений.

Литература:

1. Коптев, М. В. Введение в корпусную лингвистику// Praha: Animedia Company, 2014.

2. Прокудина И. С., Шилова Г. Г. Лингводидактический потенциал новостных текстов // Педагогика. 2023. №9.

3. Семина Т.А. Анализ тональности текста // Социальные и гуманитарные науки. Сер. 6, Языкознание: Реферативный журнал. 2020. №4.

4. Blei, D. M., Lafferty, J. D. Topic models // Text mining: classification, clustering, and applications. 2009. 10 (71).

### **Развитие экономики в условиях цифровизации**

Ковальчук А.С., Шаталова А.А.

МАИ, г. г. Москва, Россия

В условиях цифровизации и развития современной экономики возникают изменения на рынке труда. Нехватка квалифицированных специалистов может стать главной проблемой будущего. Актуальность этой проблемы доказывается монополизацией влияния информационно-коммуникационных технологий на современное общество, что ведёт к изменению уже существующих профессий.

Снижение потребности в человеческих ресурсах, роботизация, стремительный технический прогресс – всё это способствует повышению требований к потенциальным сотрудникам-экономистам, требуя от них новых востребованных навыков и заставляя адаптироваться к новым условиям на рынке труда. Чего же стоит ожидать в будущем?

По данным «Стратегии развития информационного общества РФ на 2017-2030 годы» сущность цифровой экономики заключается в том, что ключевым фактором производства в ней являются данные в цифровом виде, обработка больших объемов и использование результатов анализа которых по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют повысить эффективность различных видов производства, технологий, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг».

Цифровая экономика – это четвёртый этап промышленной революции. На этом этапе стоит ожидать востребованность таких профессий, как цифровой маркетолог, разработчик персонального инвестиционного плана, менеджер фонда инвестиций, аудитор по зелёному финансированию.

Умение адаптироваться к условиям цифровой экономики может способствовать большому карьерному росту. Владение сотрудником soft skills, клиентоориентированность, мультиязычность, коммуникативность, способность анализировать информацию и грамотно её презентовать, системное и рациональное мышление – это те навыки, которые позволят современной экономике выйти на новых уровень.

Для решения такой проблемы, как нехватка квалифицированных кадров, нужно развивать центры переподготовки, мотивировать молодых людей получать востребованные в цифровой экономике специальности, разрабатывать программы стажировки для начинающих специалистов.

Резкие перемены на рынках требуют новых подходов к трудовым ресурсам. С одной стороны, нужно обеспечить развитие технического прогресса необходимым персоналом, а с другой — сохранить и преумножить существующий человеческий капитал, дать каждому человеку возможность не просто работать, а работать комфортно, получая удовлетворение.

Литература:

1. Малинина Т.Б., Человек в цифровую эпоху // Проблемы деятельности ученого и научных коллективов. 2018. - № 4(34). - С. 146-156.

2. Указ Президента РФ от 9 мая 2017 г. N 203 "О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы"

3. Романова Ю.Д. Современные информационно-коммуникационные технологии для успешного ведения бизнеса / Ю.Д. Романова, Л.П. Дьяконова, Н.А. Женова. - Москва: Инфра-М, 2021. - 257 с.

## Достижение целей устойчивого развития с помощью ОЭЗ

Ковальчук А.С.

МАИ, г. г. Москва, Россия

Движущей силой для достижения целей устойчивого развития является стабильная экономика, позволяющая раскрывать потенциал сменяемых поколений, как основа процветающего, прогрессивного государства. Сегодня, для российского сообщества, реализация намеченных планов по развитию экономики осуществляется по разным направлениям и объединяет в себе единую мысль – продвижение инновационной культуры и повышение эффективности взаимодействия государства с промышленностью и наукой.

Одним из путей роста являются Особые Экономические Зоны (ОЭЗ), представляющие собой территории, на которых действует специальный режим осуществления предпринимательской деятельности, включающий льготные налоговые и таможенные условия. ОЭЗ России имеют 4 направленности: промышленность, технологии, туризм и логистика. Значительное внимание в настоящее время уделяется первому и второму типу ОЭЗ – промышленно-производственным и технико-внедренческим.

Использование ОЭЗ приводит к росту количества рабочих мест, нарастающему применению инновационных технологий производства, развитию программы импортозамещения и экспорта, а также служит источником привлечения инвестиций как отечественных предпринимателей, так и зарубежных инвесторов и капиталов в регионы России. Подобный механизм способствует организации наукоёмкому бизнесу, который сегодня играет важную роль для достижения устойчивого экономического роста, в том числе полной и производительной занятости.

Ключевой идеей сегодня выступает участие кластеров, как совокупности функционирующих между собой субъектов деятельности в сфере промышленности, в числе резидентов ОЭЗ. Первостепенными задачами идеи являются: ускорение научно-технического прогресса; трансформация инструментов для стимулирования и финансирования инноваций; достижение технологического суверенитета и полного импортозамещения. Помимо этого, при создании новых ОЭЗ были выдвинуты варианты строительства типовых зданий и сооружений, необходимых для запуска производства, что позволит упростить и ускорить запуск производства, а также рассматривается идея о расширении налоговых льгот и мер поддержки в том числе для среднего, малого и микропредпринимательства, что повысит привлекательность ОЭЗ для международных инвесторов с налаживанием и укреплением сотрудничества поставок.

Подводя итоги, можно сказать о том, что в настоящем моменте для процветания российской экономики, обеспечения целей устойчивого развития и достижения полного импортозамещения используются различные методы и практики, перенимается опыт других стран и налаживаются новые зарубежные связи. Полученные знания и данные практик концентрируются и находят своё воплощение в действующем законодательстве в отношении промышленной политики РФ, ОЭЗ, кластеров, технопарков и подобного, что позволяет совершенствовать инструменты воздействия и повышать научно-технический потенциал государства.

Литература:

1. Распоряжение Правительства РФ от 14 июля 2021 г. № 1912-р «Об утверждении целей и основных направлений устойчивого (в том числе зеленого) развития РФ»;
2. Ассоциация кластеров, технопарков и ОЭЗ России [сайт]. Режим доступа: <https://akitrf.ru/>

### **Анализ проблем и определение развития цифровой трансформации системы управления качеством на авиастроительных предприятиях**

Козырева У.Р., Есипова И.С.

МАИ, г. Москва, Россия

На каждом этапе жизненного цикла продукции применяется специальная система информационной поддержки этапа – системы группы, например, при проектировании CAD и CADD, при подготовке и освоении производства CAM/CAE, на этапе серийного

производства ERP/PLM, на этапе эксплуатации EAM и др.. В новых экономических условиях [1; 2] были рассмотрены отечественные производители информационных систем управления.

Качество – это степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта требованиям [3]. Для повышения производительности и эффективности, а также оптимизации процессов управления возникает необходимость создания единой системы управления предприятием.

Качество зарождается на этапе планирования и продолжает формироваться на всех последующих этапах. При внедрении систем информационной поддержки на каждом этапе жизненного цикла продукции (ЖЦП) возникает проблема взаимозаменяемости и совместимости этих систем [4]. Обработка данных занимает много времени и при отсутствии единой системы приходится работать с данными в нескольких базах данных, и их перенос осуществлять вручную. Это может повлиять на корректность вводимых данных, в том числе связанных с влиянием человеческого фактора. Поэтому стоит внедрять либо системы от одного производителя, либо решать задачу совместимости систем от различных производителей. Предлагаемая единая информационная система поддержки управления качеством позволит повысить эффективность и конкурентоспособность предприятия на всех этапах ЖЦП: сократить время на операционную работу, получать корректные и своевременные данные о процессе и упростить работу с ними.

Результатами внедрения системы информационной поддержки управления качеством продукции являются:

1. Эффективное принятие решений.
2. Экономия ресурсов.
3. Минимизация количества ошибок из-за человеческого фактора, а также сокращение неточностей в планировании.
4. Наличие всей необходимой информации для принятия решений, и, в следствие, повышение управляемости, инвестиционная привлекательность и прозрачность процессов для руководства.
5. Повышение производительности, увеличение прибыли и сокращение издержек, запасов и объемов незавершенных процессов.
6. Полнота выполнения задач.
7. Контроль затрат проектов.
8. Повышение уровня информационной безопасности и др.

Крупные промышленные компании стараются переходить на автоматизированные системы управления [5; 6; 7; 8]. Информационные системы помогают в повышении конкурентоспособности [9; 10]. Рынок программных обеспечений систем управления огромен, на настоящий момент выручка лидера рынка ERP-систем компании 1С составляет 19 млрд.руб. [11].

В статье предлагается рассмотреть вариант создания системы информационной поддержки управления качеством продукции и оценить эффективность ее внедрения на авиастроительном предприятии.

### **Перспективы стратегического развития авиационно-космической промышленности современных условиях**

Колосова В.В., Мезина Н.А., Луцманова Д.А.  
МАИ, г. Москва, Россия

Роскосмос является государственной корпорацией, которая занимается разработкой и производством космических систем и технологий, осуществляет управление космическими полетами и международное сотрудничество в области космических исследований.

Корпорация на сегодняшний день является одним из ведущих игроков в мировой космической индустрии. Основными задачами Роскосмоса являются обеспечение национальной безопасности, развитие науки и технологий, поддержка экономики и социального развития России.

Замыслом стратегического развития Роскосмоса является обеспечение государственных интересов и обеспечение поступательного технического и технологического развития РКП, путем активизации внутренних резервов, новых идей, возможностей мирового и внутреннего рынков.

Госкорпорацией был проведен анализ целевого состояния по основным направлениям (с 2017 года):

- Гарантирование надежности и качества ракетно-космической техники – Среднюю долю успешных пусков ракет-носителей к 2030 году планируется увеличить до 99%.

- Финансовое состояние Корпорации – по отношению к 2017 году Роскосмос планирует увеличить выручку на 85%.

- Развитие РКП – за период 13 лет планируется увеличить рентабельность по чистой прибыли с 4,3% до 6,8%.

При анализе финансовой отчетности Госкорпорации за период 2019-2021 годов наблюдается падение выручки на 47,2% и себестоимости продаж 31,1%. Такое падение показателей связано с сокращением бюджетных средств на космическую программу России и уменьшением объемов госзаказа на производство космических систем и технологий.

Несмотря на падение финансовых показателей Роскосмоса за последние годы, корпорация продолжает работать над развитием космической индустрии России и участвовать в международных космических проектах.

Для стратегического развития Роскосмос использует следующие инструменты, которые делятся на 3 основных направления:

1. Технические инструменты

- Перспективные технологии.
- Приоритетные проекты.
- Промышленные технологии.

2. Организационные инструменты

- Корпоративная система планирования и управления технологическим развитием.
- Развитие ГЧП.
- Формирование резервов для финансирования создания прорывных технологий.

3. Кадровые инструменты

- Создание условий для привлечения и закрепления в отрасли лучших кадров.
- Создание молодежных коллективов для работы над технологиями будущего.

Госкорпорация выделяет 3 основных направления развития космической деятельности:

1. Автоматические космические аппараты (космическая связь, дистанционное зондирование Земли, навигация, фундаментальные космические исследования).

2. Пилотируемые полеты.

3. Система средств выведения.

Для реализации поставленных целей Госкорпорации Роскосмос необходимо продолжать работу над совершенствованием технологий и созданием новых космических систем, а также укреплять международное сотрудничество. Важно обеспечить финансирование космических программ и проектов на достаточном уровне, чтобы обеспечить стабильность и эффективность работы корпорации. В целом, развитие космической индустрии является стратегически важным для России, и Роскосмос должен продолжать работу в этом направлении, чтобы обеспечить рост и процветание отрасли.

Литература:

1. Гафиатуллин В.А. Стратегическое развитие комплекса предприятий авиационной: аспект инновационности// Фундаментальные исследования. – 2016. - № 3-2. С. 344-348;

2. Сборник трудов XV Всероссийской студенческой научной школы «Аэрокосмическая декада». – М.: Издательство «Перо», 2022. – 269 с.

## **Исследование влияния ключевых процессов общественного формирования на цели устойчивого развития высокотехнологического предприятия**

Комарова Н.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Внешняя среда для высокотехнологичных предприятия особенно в аэрокосмической отрасли является очень подвижной, большое влияние на предприятие оказывают такие ключевые процессы общественного развития, как: инновации; цифровая трансформация и глобализация экономики. Предприятие в настоящее время для того, чтобы избежать повышения уровня энтропии и бюрократизации должно обращать внимание на стратегию устойчивого развития, включающую экономический рост, социальную ответственность и экологическое равновесие. Проанализировать это влияние на устойчивое развития предприятия и является проблемой данного исследования. При проведении исследования за основу было взято 17 целей устойчивого развития (ЦУР) общества, сформированные в ООН в 2015 году. При рассмотрении влияния технологические инновации было выявлено, что организации должна постоянно заниматься нововведениями, во-первых, чтобы быть высокотехнологичными, а во-вторых, чтобы в эпоху больших технологических перемен оставаться конкурентоспособным. Положительное влияние данного процесса на устойчивое развитие предприятия связано с тем, что волна технологических инноваций вызывает действие инновационного мультипликатора и способствует экономическому росту. Отрицательное влияние связано с эффектом «провала рынка» при внедрении инноваций, а также может привести к загрязнению окружающей среды, нарушению пропорций рынка, снижению занятости и др. Позитивное влияние финансовых инноваций связано с упрощением процедур расчета, получением больших финансовых возможностей стратегического развития предприятия, а отрицательное влияние связано с мошенничеством. Экологические инновации особенно необходимы предприятию для его устойчивого стратегического развития. Положительное влияние этих инноваций связано с созданием чистых технологий, улучшением использования пресной воды, освоением возобновляемых источников энергии, нацеленных на рост эффективности производства и снижение его природоемкости. Не менее важное значения имеют также социальные инновации, которые связаны с созданием условий для развития общества, семьи, повышения мотивации сотрудников, заинтересованности в развитии предприятия, стимулирующие их инновационную активность и саморазвитие. Отрицательное воздействие на устойчивое развитие возможно в случае нарушения социально-экономических пропорций, высвобождение высококвалифицированных рабочих мест, утечка мозгов. Отрицательное влияние глобализации экономики связано с ужесточением контроля над функционированием национальных экономик со стороны транснациональных корпораций, усилением неравенства стран, обострение проблем экологии и социальной сферы. Во время конфликтов, войн, стремлении политического доминирования одной страны над другими, как мы видим сейчас в мире, глобализация отрицательно влияет на все ЦУР. Положительное влияние цифровой трансформации связано с ростом производительности труда, с возможностью повышения уровня взаимоотношений между странами, регионами, экономическими агентами. Цифровизация побуждает экономические системы к переходу на ESG-стратегию устойчивого развития, заключающуюся в прозрачности менеджмента, заботу об окружающей среде, клиентах и сотрудниках. Подталкивает сферу информационной безопасности к развитию, повышая защищённость инфраструктуры общества.

Литература:

1. Комарова Н. В. Стратегия, включающая развитие космической связи как экосистемы в условиях индустрии 4.0. Экономика и управление в машиностроении. Актуальные издательские решения. № 1, 2023 С.44-49

## **Влияние кооперации на эффективность процессов освоения производства авиационной техники**

Кондратьев Д.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В настоящее время все перспективные программы отечественного авиастроения строятся вокруг кооперации. Высокий уровень специализации авиационного производства и сопряженность со смежными отраслями (радиоэлектроника, двигателестроение, металлообработка, средства связи и др.) обуславливают широкое развитие кооперационных связей между предприятиями. Кооперация позволяет за счет совокупного использования мощностей предприятий, участвующих в проекте по созданию воздушного судна, обеспечивать конечных потребителей качественной и безопасной авиационной продукцией. Кроме того, кооперация оказывает непосредственное влияние на стоимость самолета, так как в структуре его цены значительную долю составляют материальные затраты.

В начале освоения производства воздушного судна и его компонентов производственный процесс характеризуется высокими затратами трудовых и материальных ресурсов. Однако по мере увеличения объемов выпуска продукции затраты постепенно снижаются, что связано с так называемым «эффектом обучения на производстве». В свою очередь при росте выпуска различных типов воздушных судов в большей степени растет серийность выпуска их компонентов за счет их унификации. Это дает поставщикам по кооперации возможность повысить эффективность процессов освоения выпуска своей продукции, ускорить процессы обучения и достичь более высокого уровня экономии на издержках.

С точки зрения финального изготовителя воздушного судна минимальным критерием эффективности кооперации является ее готовность производить комплектующие в необходимом количестве, с нужным качеством и в заданные сроки. Оптимальным вариантом является обеспечение кооперацией выпуска комплектующих, в разы превосходящего выпуск конечной продукции, что значительно повышает серийность и ведет к снижению стоимости материальных затрат даже при малой серийности конечной продукции.

В российском авиастроении примером межпроектной унификации является бортовое радиоэлектронное оборудование (БРЭО). БРЭО, разработанное для российского среднемагистрального авиалайнера МС-21, является технологическим заделом для разработки комплекса Авионики для самолетов семейства SJ-100. Еще одним примером унифицированного комплектующего изделия являются бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС), представляющие собой незаменимое автономное средство навигации межвидового применения и востребованные широким классом потребителей.

Таким образом, кооперация на разных уровнях оказывает существенное влияние на процессы освоения выпуска авиационной продукции. При этом выпуск унифицированной продукции обеспечивает более эффективное освоение производства компонентов за счет потенциально большей серийности по отношению к конечному продукту – воздушному судну. Улучшение организации производства, освоение новых технологических процессов, приобретение опыта, способствующее постепенному уменьшению затрат на всех уровнях кооперации, определяют экономическую эффективность освоения производства воздушного судна в целом.

### **Оптимальные способы использования геймификации в обучении персонала на промышленных предприятиях**

<sup>1</sup>Коновалова В.Г., <sup>2</sup>Сиренко К.В.

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>ГУУ, г. Москва, Россия

Каждый год меняются подходы и инструменты, применяемые в сфере обучения и развития персонала. Компании стремятся изучить новые технологии, которые становятся более доступными, и понять, как это поможет в обучении и мотивации персонала. Возрастает потребность в использовании новых форм вовлечения персонала в обучение персонала. Согласно исследованию компании Google Future of Education, одним из трендовых форматов в обучении является геймификация [1].

Геймификация – это применение элементов игрового дизайна к неигровым ситуациям, например, к обучению [2]. Цель геймификации – повысить мотивацию и вовлеченность обучающихся, а также улучшить их результаты обучения.

Она имеет много преимуществ по сравнению с традиционными подходами к обучению, поэтому многие компании стали активно использовать данный формат. Однако важно понимать, что геймификация не является универсальным форматом для любого обучения. Есть определенные риски при ее внедрении.

Методы геймификации часто связаны с приложениями и вебсайтами, которые требуют использования технологий. Между сотрудниками может существовать цифровое неравенство, и, делая технологии важной частью обучения, есть риск того, что некоторые участники не смогут полноценно принять участие в обучении.

С учетом использования различных технологий и дополнительных средств на разработку геймификация может стать дорогостоящим продуктом. Поэтому перед ее внедрением следует понять соотношение затрат и приносимого результата и того, как такой формат поможет в достижении целей обучения.

Кроме того, геймификация вредит осознанному подходу сотрудников к обучению, так как они вовлекаются в процесс благодаря игровым элементам, но не осознают и не фокусируются на основных целях обучения и пониманию его необходимости. Поэтому максимальный результат от игрового обучения сотрудники получают при сложном, скучном для них обучении. Например, для изучения правил охраны труда, инструкций или решения сложных бизнес-кейсов. А также в тех случаях, когда сотрудники не в полной мере осознают ценность того или иного подхода, которому они обучаются.

Необходимо уделить внимание тому, как качественно и целостно создать процесс, не перегружая его, и тогда геймификация принесет качественный результат [3].

Таким образом, при внедрении геймификации в обучение следует учитывать мотивацию сотрудников, сверяться с целями обучения и оценивать соотношение материальных и трудовых затрат на использование геймификации с тем результатом, который она принесет. Наиболее оптимальным путем будет комбинирование игрового и традиционного подхода к обучению. Как сказал основатель компании «GamEducation»: «Геймификация – это всегда как специя для готового обучения: можно сделать его вкус более ярким, а можно приготовить абсолютно несъедобное нечто» [4].

1. Future of Education // Google for Education URL: [https://services.google.com/fh/files/misc/foe\\_part1.pdf](https://services.google.com/fh/files/misc/foe_part1.pdf) (дата обращения: 01.10.2023).

2. Deterding, D. Dixon, R. Khaled, L. Nacke From game design elements to gamefulness: Defining gamification Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments (2011), pp. 9-15

3. Гимельштейн Е.А., Годван Д.Ф., Стецкая Д.В. Применение инструментов геймификации в образовании // Бизнес-образование в экономике знаний. 2020. №3 (17).

4. Российский опыт игрофикации: игровые методы в обучении // festpir.ru URL: <https://festpir.ru/uploads/presentation/pdf/3-naSAZtl4xVCyi9.pptx> (дата обращения: 02.10.2023).

### **Совершенствование механизма формирования программы экспериментов на космической станции РОС**

Корсаков С.В., Смирнов В.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

На борту Российского сегмента Международной космической станции (МКС) проводятся многочисленные эксперименты, охватывающие широкий спектр направлений, которые подразделяются на несколько основных групп, таких как физико-химические процессы и материалы в условиях космоса, исследования земли и космоса, медико-биологические эксперименты, космическую биотехнологию, изучение солнечной системы, технические исследования, а также эксперименты, направленные на изучение физических условий на орбите МКС [1].

Порядок формирования программ целевых работ (научных экспериментов) на борту МКС регламентируется Положением о порядке планирования и проведения целевых работ на

Международной космической станции (Положение ЦР-МКС), а порядок планирования и проведения целевых работ включает в себя формирование заявочной документации, программную интеграцию, наземную подготовку, бортовую реализацию, анализ результатов и их внедрение [2].

На смену МКС в Российской Федерации разрабатывается Российская орбитальная станция РОС, полномасштабные работы по созданию которой начнутся в 2024 году, а первый модуль планируется запустить в 2027 году [3].

Программа научных экспериментов на Российской орбитальной станции (РОС) будет иметь определенную преемственность к программе экспериментов на МКС, но при этом имеется возможность расширить спектр исследований за счет изменения наклона орбиты и отсутствия международных правовых ограничений, которые присутствуют в рамках проекта Международной космической станции [4].

Вместе с тем существующие недостатки механизма формирования и реализации программы целевых работ на МКС, такие как большие сроки программной интеграции и наземной подготовки, сложность контроля прохождения этапов и другие, могут быть учтены и минимизированы на станции РОС [5].

Усовершенствовать механизм формирования и реализации программы целевых работ на станции РОС предлагается за счет цифровой трансформации этого процесса. Цифровизация механизма позволит снизить влияние человеческого фактора, увеличить скорость, повысить надежность процессов и получить дополнительные возможности для контроля [6].

Литература:

1. Долгосрочная программа целевых работ, планируемых на МКС до 2024 года. Дополнение 2021 года. // ЦНИИМАШ: офиц. сайт. – URL: <https://tsniimash.ru/upload/030/ДПЦР%202021%20фин.pdf> (дата обращения: 16.11.2023).

2. Положение о порядке планирования и проведения целевых работ на Международной космической станции (Положение ЦР-МКС). // ЦНИИМАШ: офиц. сайт. – URL: <https://tsniimash.ru/upload/030/Положение%20о%20%20ЦР-МКС.pdf> (дата обращения: 16.11.2023).

3. Эксплуатацию Российской орбитальной станции планируют начать в конце 2027 г. // Интерфакс: офиц. сайт. – URL: <https://www.interfax.ru/russia/930586> (дата обращения: 16.11.2023).

4. Олег Орлов. Ученые хотят проводить длительные миссии на РОС // РИА Новости: офиц. сайт. – URL: <https://ria.ru/20220822/orlov-1811222576.html?ysclid=loj7ikwy14711351974> (дата обращения: 16.11.2023).

5. Микрин Е.А. Научно-технические проблемы реализации проекта «Пилотируемые космические системы и комплексы» // Космическая техника и технологии, 2019. – №3(26). – с. 5-19.

6. Одобрен проект стратегии информационных технологий Госкорпорации «Роскосмос» // Роскосмос: офиц. сайт. – URL: <https://www.roscosmos.ru/25892/> (дата обращения: 16.11.2023).

## **Метод формирования проектной команды**

Краев В.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Предприятия аэрокосмической отрасли в последние 15 лет переживают мощный подъем, связанный с разработкой новых образцов техники и увеличением объемов производства. В связи с этим возрастает необходимость эффективного формирования проектных команд и использования кадрового потенциала.

Важнейшим условием для формирования проектных команд помимо профессиональных компетенций является психологическое взаимодействие между членами команды. Именно взаимоотношения между коллегами нередко играют решающую роль в успешной реализации проекта.

Ранее [1] нами был определен подход для выявления скрытых конфликтов между сотрудниками. Такой подход основывается на опросных данных и выявляет взаимные

парные негативные оценки сотрудников. Выявление взаимных позитивных парных оценок между сотрудниками позволит выявить хорошие взаимоотношения и использовать эту информацию для формирования проектной команды.

Дальнейшее развитие указанного подхода может позволить внедрить систему, аналогичную [2] с применением искусственного интеллекта для формирования проектной команды.

Литература:

1. Тихонов В.А., Краев В.М. Метод выявления скрытых конфликтов среди сотрудников организации. Московский экономический журнал. 2023. Т. 8. № 1.
2. Краев В.М., Тихонов В.А. Выявление конфликтов в организации с помощью искусственного интеллекта. Естественно-гуманитарные исследования. 2023. № 2 (46). С. 375-379.

### **Создание технологического акселератора в рамках общей модели стратегического развития предприятия ракетно-космической отрасли как инструмента работы с инновационными проектами**

Красноперов П.М.

ПАО «РКК «Энергия», г. Королев, Россия

Стратегический план развития предприятия космической отрасли состоит из логически взаимосвязанных этапов:

- определение стратегии развития космонавтики,
- определение продуктовой стратегии предприятий холдинга,
- разработка корпоративных программ научного, технологического, производственного, кадрового и т.д. развития предприятий холдинга. Предлагается разработать цифровую модель взаимосвязи данных этапов.

Нужно отметить, что форматы организации такого инструмента могут быть различны и во многом зависят от тех целей, которые преследует предприятие на определенном этапе его развития и тех конкретных задач, которые определяет заказчик.

При построении модели долгосрочного стратегического развития основной целью предприятия безусловно является обеспечение устойчивого развития, что для высокотехнологичных предприятий невозможно без системной работы с научно-техническим заделом (НТЗ). Для решения этих задач предлагается использовать технологический корпоративный акселератор (ТКА) как инструмент развития научно-технологического потенциала предприятия ракетно-космической отрасли. ТКА рассматривается как инструмент работы с инновационными проектами.

Осуществлено создание технологического корпоративного акселератора на конкретном предприятии ракетно-космической отрасли как инструмента работы с высокотехнологичными проектами.

Среди основных проблем создания и внедрения ТКА можно выделить сложности с интеграцией процессов ТКА в устоявшиеся и регламентированные бизнес-процессы крупного предприятия ракетно-космической отрасли со своей культурой и подходами к развитию.

Этапы создания ТКА:

1. Принятие решения о создании ТКА.
2. Создание методологии проведения акселерационных программ, определяется порядок работы конкурсных комиссий и экспертного сообщества, разрабатывается техническое задание на создание соответствующего ИТ-решения.
3. Создание самого Акселератора и его продвижение.
4. Заключительным этапам можно считать апробацию ТКА в пилотном режиме.

Основной эффект от внедрения ТКА на предприятиях ракетно-космической отрасли проявляется в получении гибкого инструмента доращивания уровня готовности технологий, который в конечном счете позволяет сократить цикл разработки изделия на этапе ОКР.

Литература:

1. Приказ Минпромторга России от 23.06.2017 №1993 «Об утверждении Перечня высокотехнологичной продукции, работ и услуг с учетом приоритетных направлений модернизации Российской экономики и перечня высокотехнологичной продукции» (Зарегистрировано в Минюсте России 17.07.2017 №47431) // СПС КонсультантПлюс (дата обращения 25.07.2020)

2. Бирман Л.А., Кочурова Т.Б. Стратегия управления инновационными процессами // Учебное пособие. 2010

3. Москвичева Н.В., Вопросы эффективности внедрения системы корпоративного управления проектами в промышленной организации/ Н.В. Москвичева, Н.О. Мелик-Асланова // Экономика и предпринимательство. -2017. -№ 8-2 (85).- С. 840-846

4. Бурдина А.А., Проблемы формирования, наращивания и реализации инновационного, инвестиционного и интеллектуального потенциала предприятий авиационной промышленности в современных и прогнозируемых социально-экономических условиях/ А.А. Бурдина, Н.В. Москвичева//Вестник МГТУ "Станкин". -2018. -№ 1 (44). -С. 121-128

5. Мелик-Асланова Н.О. Анализ особенностей модернизации производственных мощностей предприятий авиационной промышленности/ Н.О. Мелик-Асланова, Н.В. Москвичева//Вестник Московского авиационного института. -2015. -Т. 22. № 4. -С. 208-213

### **Подходы к обеспечению целей устойчивого развития компаний авиационной промышленности**

<sup>1</sup>Кузина М.А., <sup>2</sup>Смирнов В.Г.

<sup>1</sup>РУТ (МИИТ), <sup>2</sup>МАИ, г. Москва, Россия

Обеспечение реализации политики устойчивого развития на базе авиационных компаний является сложным и многокомпонентным процессом, предполагающим взаимосвязь:

- Долгосрочной стратегии развития компании авиационной промышленности и экологических целей деятельности.
- Социальной политики управления кадрами в направлении повышения качества труда и занятости населения.
- Механизма принятия управленческих решений и привлечения сотрудников компании для участия в разработке социо-эколого-экономически эффективных бизнес-идей.

Для компании авиационной промышленности следование целям устойчивого развития становится одним из способов обеспечения долгосрочных ориентиров развития в соответствии с происходящими социально-экономическими трансформациями. В контексте требований, установленных ЦУР ООН, зеленое устойчивое развитие транспорта приобретает ключевое значение в рамках обеспечения доступности городской среды, снижения выбросов углекислого газа в атмосферу, перехода на более экологически чистые виды основных средств и многие другие [6].

Кроме того, устойчивое развитие в контексте реализации ключевых политик неразрывно связано с занятостью населения, поскольку строится на:

- Расширении числа профессий и появлении новых видов профессиональной деятельности.
- Повышении социальной защищенности населения, внедрении льгот для сотрудников организации.
- Росте качества и безопасности труда, увеличении степени занятости и повышении оплаты труда в условиях жесткого соблюдения требований охраны труда работников.
- Обеспечении непрерывного повышения квалификации персонала компании [5].

В целом для предприятий авиационной промышленности следование принципам устойчивого развития позволит обеспечить реализацию требований социального и корпоративного развития бизнеса, рост прибыли компании с одновременным принятием управленческих природоохранных решений, направленных на ориентирование внутренних бизнес-процессов на защиту окружающей среды.

Литература:

1. Подсорин В.А., Булахова П.А., Комаров В.А. Формирование критериев устойчивого развития бизнес-экосистем // Транспортное дело России. 2023. №1. С. 147-151.

2. Подсорин В.А., Комаров В.А. Обеспечение устойчивого развития транспортного комплекса на принципах динамического тарифообразования на услуги инфраструктуры железнодорожного транспорта//Транспортное дело России. 2023. № 2. С. 36-41.

3. Мукин С.В. Методология разработки сценариев социально-экономического развития//Вестник ТГУ. 2009. №7(75). С. 75-82.

4. Гуськова М.Ф., Ракиртн Ф.А. Сравнительный анализ моделей и механизмов устойчивого развития транспортной системы мегаполиса//Экономические науки. 2023. № 218.С.153-163.

5. Василенко М.А., Кузина Е.Л. Цели и направления устойчивого развития транспортных компаний // Экономика и управление: проблемы, решения.2021. Т.1. №11(119). С. 90-96.

6. Василенко М.А., Кузина Е.Л., Лапоногова А.А., Мушегян А.О. Управление транспортными компаниями на принципах устойчивого развития//Экономика и управление: проблемы, решения.2021. Т.5. №11(119). С. 16-25.

7. Рогов А.А., Сидраков А.А., Титов А.В. Экспертные модели и информационные технологии в обеспечении эксплуатационной надёжности и безопасности транспортных систем//Качество.Инновации.Образование.2019. №1(159). С.72-77.

8. Гуськова М.Ф., Стерликов П.Ф., Стерликов Ф.П., Стерликов Ф.Ф. К вопросу поиска современных эффективных форм хозяйствования. В сборнике: «Актуальные проблемы социально-гуманитарного знания». М.: Образоват. част. учр. высш. образ. «ГСИ», 2023. С. 41-49.

### **Об опыте взаимодействия Московского авиационного института с ООО «Аэрофлот Техникс» по подготовке кадров в современных условиях**

<sup>1</sup>Кущёв Н.П., <sup>2</sup>Баранов П.А.

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>ООО «Аэрофлот Техникс», г. Москва, Россия

Одним из условий решения стратегической задачи по выводу экономики страны на новый уровень, поставленной Президентом Российской Федерации В.В. Путиным в Послании Федеральному Собранию от 21 февраля 2023 года, является налаживание эффективного сотрудничества федеральных, региональных и бизнес-структур, в том числе образовательных организаций высшего образования и их партнёров организаций-работодателей. При этом им было отмечено: «...С учётом масштабных задач, стоящих перед страной, мы должны серьезно обновить подходы к системе подготовки кадров... назрели существенные изменения с учетом новых требований к специалистам... [1]. Далее, обращаясь к представителям бизнеса, предлагает «Запускайте новые проекты... помогайте... университетам... – выстраивать работу в нужном направлении» [1]. Однако без тесного взаимодействия вузов, ведущих подготовку специалистов и организаций, являющихся потребителями этих кадров, выполнить поставленную задачу нельзя. В рамках её реализации рассмотрим опыт взаимодействия МАИ с одним из своих партнёров-компанией ООО «Аэрофлот Техникс». Эффективность этой работы зависит от полноты и качества укомплектованности указанного предприятия. Поэтому, обе организации и заинтересованы в сотрудничестве по вопросам: профориентационной работы; формирования и реализации образовательных программ; повышения квалификации; организации практического обучения, ДПО и трудоустройства выпускников. Опыт показывает, что эффективность профориентационной работы повышается, если дополняется таким элементом как «профессиональная ориентация обучающихся» – «... предприятия занимаются поиском работников..., как и вузы поиском абитуриентов...Поэтому вполне логичным представляется организация совместной деятельности по поиску, мотивации, целевой подготовке и воспитанию «своего» студента или работника в цепочке «школа (СПО) – вуз – предприятие» [2]. С 2022 г. совместно реализуются новые программы СПО, где предусмотрено проведение практических занятий на производственной базе компании, в т.ч. подготовка на конкретный тип воздушного судна, с выдачей соответствующего удостоверения. Система ДПО и повышения квалификации наряду с программами по авиационному английскому для различных категорий работников, включает с 2020 года программы по обучению специалистов по техническому и наземному обслуживанию

воздушных судов. В итоге для МАИ – это: повышение качества образования; формирование потенциала ППС; внедрение программ с учетом современных тенденций развития авиационной отрасли; для ООО «Аэрофлот Техникс» – это: повышение имиджа компании; получение практически подготовленного специалиста, который требует лишь до подготовки по рабочим процедурам компании; значительное снижение расходов на подготовку персонала.

Литература:

1. Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию от 21.02.2023 «Послание Президента Федеральному Собранию»/ [Электронный ресурс] <http://kremlin.ru/events/president/transcripts/statements/70565>.

2. Кушёв Н.П., Федотова М.А., Басова В.П. Методические аспекты организации профориентационной деятельности на высокотехнологичных промышленных предприятиях // Аэрокосмическое образование в России. Ответ на вызов времени / под ред. Д.А. Козореза. - М.: Изд-во МАИ, 2023. - С. 41-56.

### **Использование IT-технологий при обучении студентов авиационных институтов**

Левитина А.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность данного исследования обусловлена широким внедрением современных технологий в научно-исследовательскую работу студентов (НИРС) в условиях реализации ФГОС и необходимостью проведения анализа эффективности различных приложений и платформ в ходе процесса обучения студентов авиационных вузов дисциплине «Иностранный язык».

Новизна представленной работы заключается в том, что в современных образовательных условиях выявляются наиболее эффективные траектории обучения студентов авиационных вузов иностранным языкам с применением таких инструментов, как: Quizlet, Genially, Kahoot, Chat GPT, Miro, НКРЯ. В исследовании приняли участие 32 человека (17 и 15 человек в контрольной и экспериментальной группах соответственно).

Обзор литературы. Вопрос использования IT-технологий с целью развития необходимых навыков у студентов рассматривают многие ученые с точки зрения образовательного процесса. Большинство исследователей, среди которых Соловова Е.Н., Ларченко, Барыникова О., Раха Р., Захарова И.Г., Пащенко О.И. подчеркивают преимущества использования подобных технологий в педагогической деятельности.

Целью исследования является анализ эффективности различных платформ и приложений в ходе осуществления процесса обучения студентов авиационных вузов иностранным языкам на примере экспериментальной и контрольной групп.

Вывод. Студенты экспериментальной группы быстрее усваивают материал, а также легче вовлекаются в учебный процесс. Разные типы заданий, позволяющие привлечь студентов, показали высокую эффективность. Наиболее высокие результаты показали такие платформы, как Genially и Kahoot.

Практическая ценность работы заключается в оценке эффективности современных инструментов при работе со студентами авиационных вузов. Исследование может быть использовано при составлении плана занятия, а также может послужить основой для дальнейших исследований в сфере преподавания и IT-технологий.

Литература:

1. Захарова И.Г. Информационные технологии в образовании: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / И.Г. Захарова. — 8-е изд., перераб. и доп. — М. Издательский центр «Академия», 2013. — 208 с. — (Сер. Бакалавриат).

2. Пащенко О.И. Информационные технологии в образовании: Учебно-методическое пособие. — Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2013. — 227 с. – ISBN 978–5–00047–022–0.

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. Larchenko V. and Barynikova O., "New Technologies in Education," E3S Web of Conferences, vol. 273, p.12145, 2021.

5. Raja, R. & Nagasubramani, P.C. (2018). Impact of modern technology in education. Journal of Applied and Advanced Research, 3(1):33-35.

### **Проблема стратегии развития российских компаний-производителей БПЛА гражданского назначения**

Левкина А.А., Алёшин А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Благодаря мерам поддержки от государства [1], сформировался крупный внутренний рынок гражданской беспилотной авиации. Исходя из отчетов ассоциации «АЭРОНЕКСТ», по итогам 2021 года объём продаж беспилотных авиационных систем (БАС) и связанных с ним услуг достиг 13,2 млрд. руб. Учитывая выведенный в отчёте среднегодовой темп роста рынка в размере 25% в год, то, по подсчётам экспертов, рынок БАС РФ к 2030-ому году может достигнуть 120 млрд. руб. Но, в данной сфере – сильно развита только B2G составляющая, основным потребителем является государство. Основная проблема рынка гражданских БПЛА РФ – отсутствие должного уровня B2C и B2B составляющих рынка, т.е. компании-производители не отвечают потребностям физических и юридических лиц. Таким образом, уменьшение поддержки компаний со стороны государства, с большей долей вероятности, приведёт к уменьшению объёма рынка БПЛА в Российской Федерации.

Для исследования была выбрана компания ООО «ПЛАЗ», которая специализируется на разработке и производстве беспилотных летательных аппаратов самолетного и мультироторного типа, авионики и полезных нагрузок. Во многом, продукция компании «ПЛАЗ» используется в военных целях [2]. Таким образом, компания хорошо постаралась над стратегией усиления позиций на рынке военных беспилотных решений. Но есть потенциал и для продвижения на рынке гражданских БПЛА. Компания разработала специальные модели (например, БАС мультироторного типа «Грифон-81/51» и самолётного типа «Грифон-17»), а также полезные нагрузки: гиросtabilизированная опτικο-электронная система двух/трёхосевая, гамма-спектрометр, магнитометр и прочее -, что делают аппараты полезными в геодезии и сельском хозяйстве. Также одной из причин, по которой у ООО «ПЛАЗ» слабо развита B2C и B2B составляющая – слабый маркетинговый отдел. На момент конца 2023 года у компании закрыт официальный сайт, что делает затруднительным физическому и юридическому лицу выход на контакт с сотрудниками и ознакомление с продукцией компании. Единственный формат стабильной коммуникации с компанией – форум «Армия», на котором можно узнать о последних новинках производителя, а также договориться о сотрудничестве. Третьей проблемой можно отметить довольно высокую цену, которая снижает коэффициент «цена-качество», и приводит потребителей к покупке надёжных и более дешёвых иностранных моделей (например, аппараты компании «DJI»).

На примере компании ООО «ПЛАЗ» можно отметить, что, основная проблема российских компаний – ценовая и маркетинговая политика. Ввиду постоянной поддержки от государства, стратегии компаний были направлены на развитие продукции: технологическое совершенствование и дифференциацию -, что привело к потере коммерческого рынка потребителя. Для исправления ситуации компаниям нужно выделять больше ресурсов на коммуникацию с потребителями рынков B2B и B2C (создавать официальные сайты, оставлять ссылки для связи), а также работать над понижением цены на продукцию или предложением добавленной стоимости (например, обеспечивать гарантийное обслуживание).

Литература:

1. Аналитический отчёт "Предварительные итоги 2022 года для рынка беспилотной авиации России" // АЭРОНЕКСТ URL: [https://aeronext.aero/press\\_room/analytics/292234](https://aeronext.aero/press_room/analytics/292234) (дата обращения: 27.09.2023).

2. Российские многофункциональные БПЛА «Сибирь-1» и «Грифон» активно используются в зоне СВО // Военное обозрение URL: <https://topwar.ru/204452-rossijskie->

## **Регламентирующая документация как основа цифровой модели системы контроля качества промышленного предприятия**

Лесик Е.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Несмотря на активное внедрение цифровых технологий на предприятиях аэрокосмической отрасли постановка изделия на производство по-прежнему остается сложной задачей. Это связано с тем, что при выявлении недостатков в процессе подготовки и освоения производства, как правило, необходимо вносить изменения в конструкторскую и технологическую документацию и заново проходить этапы подготовки и освоения. Производство считается освоенным только при успешном прохождении квалификационных испытаний. В процессе испытаний проверяется качество изготавливаемой продукции, а также сведения о поверке/калибровке средств измерений, аттестации технологического и испытательного оборудования, сведения о квалификации персонала, задействованного в изготовлении продукции в соответствии с технологической документацией, и т.д. При отрицательных результатах испытаний каждая новая итерация по исправлению выявленных недостатков и повторному прохождению испытаний требует дополнительных временных и стоимостных затрат. Очевидно, что проблема своевременного выявления несоответствий путем всестороннего учета и контроля требований к конструкции осваиваемого изделия и технологии его изготовления остается актуальной. Решением указанной проблемы является обеспечение качества выпускаемой продукции за счет внедрения цифрового двойника системы качества предприятия. Однако, на сегодняшний день отсутствует единая методика по построению цифровых моделей предприятий, включающих различные аспекты производственной деятельности, в том числе операции по контролю качества.

Целью проводимого исследования является формирование научно обоснованной базы для совершенствования процесса управления промышленным предприятием на стадии освоения производства в части контроля качества.

В ходе исследования был проведен анализ документации, регламентирующей процессы качества на производстве. Установлено, что цифровая модель системы контроля качества предприятия может быть построена на основе цифровизации требований к ресурсам предприятия, заявленным в конструкторско-технологической документации. С применением системотехнических принципов была построена модель производственного предприятия, представляющей предприятие как систему ресурсов, которыми обладает данное предприятие или которыми может себя обеспечить с целью соответствия документации, регламентирующей изготовление продукции [1].

Основным результатом исследования является обоснование подхода к формированию цифровой модели системы контроля качества предприятия на основе действующих стандартов и прочих документов, регламентирующих процесс контроля качества на производстве. Предложенный подход обеспечивает всесторонний учет и контроль требований документации, лежащей в основе используемой модели, ко всем видам ресурсов предприятия.

Благодаря своевременному выявлению несоответствий ресурсов предприятия требованиям, установленным в документации, использование предложенного подхода потенциально позволяет сократить количество итераций по устранению несоответствий, выявленных на этапе прохождения квалификационных испытаний. Как следствие, указанный подход позволяет сократить издержки, связанные с многократным прохождением испытаний.

Литература:

1. Е.С. Лесик, Д.А. Макаров, С.Н. Падалко докт. техн. наук, А.М. Станкевич, Базовые процессы функционирования цифровой организации — М: НТВП, 2023.

## **Организационно-управленческая деятельность высокотехнологичного предприятия - тренды цифровизации**

Лунев В.С., Андреева Э.Э., Мезина Н.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Организационно-управленческая деятельность на предприятии, полностью или частично задействованного в проектировании продукции, создание которой осуществляется при помощи немалого количества специалистов и экспертов, а также при помощи высоких технологий, является неотъемлемой частью процесса, результатом которого будет очередной успешно реализованный проект.

В настоящее время большое количество предприятий, вовлечённых не только в производство и промышленную деятельность, но и в деятельность, связанную с проектированием продукции, обращают пристальное внимание на те факторы, которые способны оказать существенное положительное влияние на результаты проведённых работ, в то же время способных отрицательно повлиять на весь ход рабочего процесса при отсутствии их должного учёта. В связи с этим необходимо не только понимание важности этих факторов, но и оценка возможных последствий от их полного или частичного игнорирования.

Именно поэтому проектирование высокотехнологичной продукции уже сейчас невозможно представить без тщательно продуманных организационно-управленческих процессов, нуждающихся в периодическом обновлении и совершенствовании в условиях постоянно меняющихся реалий современности, требующих адаптации.

1. Цифровая трансформация экономических систем: проблемы и перспективы (ЭКОПРОМ-2022): сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с зарубежным участием, 11–12 ноября 2022 г. / под ред. д-ра экон. наук, проф. Д. Г. Родионова, д-ра экон. наук, проф. А. В. Бабкина. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 819 с

2. Макеев Александр Цифровое проектирование: как создаются «безбумажные» самолеты / Макеев Александр. — Текст: электронный // rostec.ru: [сайт]. — URL: <https://rostec.ru/news/tsifrovoye-proektirovanie-kaksozdayutsya-bezbumazhnye-samolety/>

3. Цифровая трансформация промышленных предприятий в условиях инновационной экономики. Монография / Под научной редакцией доктора экономических наук Веселовского М.Я. и кандидата экономических наук Хорошавиной Н.С. – М.: Мир науки, 2021. – Сетевое издание. Режим доступа: <https://izdmn.com/PDF/06MNNPM21.pdf> – Загл. с экрана.

4. Бондаренкова, И. В. Б 811 Интегрированные системы управления жизненным циклом продукции: учебно-методическое пособие / И. В. Бондаренкова. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. – 55 с.

## **Ролевая игра как метод преподавания языка радиообмена в авиации**

Лысенко С.В.

МАИ, г. Москва, Россия

В международных аэропортах и на международных авиалиниях в качестве рабочего языка пилоты и авиадиспетчеры используют английский язык, являющийся в настоящее время *lingua franca*.

Актуальность темы доклада заключается в том, что Международная организация гражданской авиации (ИКАО) рекомендует регулярно повышать уровень владения английским языком участниками радиообмена, для чего необходимо совершенствовать методику их обучения специальному языку. Это может быть достигнуто благодаря использованию наряду с проверенными временем методами обучения относительно новыми методами: ролевыми играми.

Цель доклада – проанализировать факторы (речевую ситуацию и др.), влияющие на качество формирования устойчивых навыков порождения и восприятия речи участниками радиообмена в авиации.

Методы исследования – обзор научной и методической литературы, описательно-аналитический метод, координационно-деятельностный анализ языковых явлений и профессиональных действий участников коммуникации.

Обзор литературы. Особенности английского языка радиообмена в авиации изучала С.В. Осадчая (2018), методику обучения языку радиообмена в авиации – С.В. Лысенко, В.В. Плотников (2018), методику обучения диалогической речи – В.Н. Долженков (2018).

Исследование. Обучение пилотов и авиадиспетчеров ведению радиообмена на английском языке, необходимо иметь в виду то, что их контакты осуществляются в необычных и сложных ситуациях, специфические элементы которых влияют особым образом на процессы порождения и восприятия речи. Поэтому на занятиях следует создавать учебные речевые ситуации, которые представляют собой модели реальных речевых ситуаций, нацеленных, на решение профессиональных неречевых задач с помощью речевых средств.

Особое значение речевая ситуация имеет при обучении ведению диалога, поскольку она является основой возникновения смысловых взаимосвязей высказываний, которыми обмениваются участники радиообмена, и создает предпосылки для автоматизации использования той или иной единицы речи.

Для среднего этапа обучения наиболее адекватным интерактивным методом является ролевая игра, которая представляет собой имитацию естественной речевой деятельности авиационных специалистов в рамках определенной учебной ситуации, создающей конкретную проблему и нацеленной сначала на развитие, а затем на совершенствование умений и навыков решения смоделированной проблемы с помощью определённых речевых действий. В ходе ролевой игры обучаемые должны погружаться в языковую среду и применять свои знания на практике.

Особое внимание при организации ролевой игры следует уделить созданию условий, которые обеспечивают высокую мотивацию речевого общения, вызывают естественный интерес к деятельности, способствуют активному и полноценному выполнению комплекса упражнений. Для этого необходимо обоснованно распределить роли участников игры, определить направление их действий и организовать речевой материал вокруг ситуации как своего рода “оси” взаимоотношений обучаемых с тем, чтобы они успешно выполнили задание и достигли поставленной преподавателем цели.

Вывод. Применение на занятиях ролевых игр позволяет активизировать формирование речевых компетенций участников радиообмена в авиации, которые повышают качество их вербального общения и, в результате, обеспечивают высокий уровень безопасности в воздушном пространстве.

## **О подходах Государственной корпорации «Ростех» к организации целевого обучения**

<sup>1</sup>Ляпина С.Ю., <sup>2</sup>Басова В.П., <sup>1</sup>Фролова В.В.

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>ГК «Роскосмос», г. Москва, Россия

На сегодняшний момент Госкорпорация «Ростех» является полноправным игроком в процессах целевого обучения. Вместе с тем, существуют системные задачи, решение которых является приоритетом.

Первая из них — это необходимость детализации квоты приема на целевое обучение в интересах Госкорпорации «Ростех». При планировании и распределении заданий госплана подготовки кадров для ОПК «Ростех» не выделен отдельным участником процесса, в отличие от Роскосмоса и Росатома. Вторым важным фокусом в целевой подготовке является автоматизация и обеспечение прозрачности всех этапов реализации целевого обучения.

Корпорацией была разработана целевая модель подготовки специалистов. Модель предполагает непрерывное взаимодействия студентов, организаций и вузов на всех этапах целевого обучения.

На основе модели были разработаны флагманские программы Корпорации, ключевыми характеристиками которых являются опора на тщательно выверенные профили абитуриента и выпускника программы, разработанные на основе модели компетенций, трудоустройство студентов, знакомство с производством и освоение профессий уже на первом курсе обучения под руководством наставников, контроль обучения на всех этапах через заранее

установленные показатели достижения результатов и социальная поддержка и мотивация. Ключевая цель программ – сокращение качественного разрыва между требованиями работодателей к молодым специалистам и действующим уровнем подготовки студентов. Пилот программы был реализован в МАИ.

В 2022 году проект «Крылья Ростеха» был масштабирован еще в 9 региональных вузах. На сегодняшний день в проекте участвуют 581 чел., обучающихся по 7 направлениям подготовки и специальностям.

При проектировании программ обучения используется междисциплинарный подход для обеспечения подготовки не только линейных специалистов, обладающих только ИТ или инженерными компетенциями, но и специалистов, способных разрабатывать программно-аппаратные комплексы.

Для развития флагманских инициатив Ростеха и обеспечения единых отраслевых стандартов качества целевого обучения во всех регионах Корпорации необходимо гарантированное выделение целевых мест для конкретных организаций в заданных регионах, в конкретных вузах-партнерах.

### **Проблемы и достоинства цифровизации этапа подготовки и освоения производства машиностроительной продукции**

Макаров Д.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Этап технологической подготовки и освоения производства – это этап жизненного цикла изделия, в рамках которого осуществляется преобразование конструкторской документации, сформированной в процессе проектирования изделия, в технологическую документацию, необходимую для процесса производства изделия.

Цифровизация данного этапа означает, что и конструкторская документация, и технологическая документация должны быть представлены в электронном виде, ориентированном на обработку автоматизированными системами. Плюсами такого представления является:

- Возможность эффективного производственного планирования с помощью ERP-систем, причем не только материального, но и мощностного, что обеспечит более высокую точность расчета экономических показателей производства.

- Возможность более раннего выявления узких мест в технологических цепочках, до стадии материального производства и квалификационных испытаний, за счет чего сокращается себестоимость производства.

- Возможность интеграции конструкторской и технологической документации и реализации сквозного процесса обработки извещений об изменении, за счет чего обеспечивается ускорение идентификации участков техпроцесса, требующих изменения вследствие изменений конструкторской документации.

Однако нужно учесть, что ведение цифровой конструкторской и технологической документации и её последующее использование на этапе производства выполняется в разных семействах систем. На данный момент нет общепризнанной единой системы, обеспечивающей универсальное решение по поддержке обоих этапов жизненного цикла на уровне, требуемом современными машиностроительными предприятиями. В результате возникает необходимость использовать интерфейсы для преодоления данного информационного разрыва.

Существующие «коробочные» интерфейсы на поверку оказываются малоэффективны, так как не учитывают особенности реализации решений в смежных системах. Ориентируясь на характерную для машиностроения структуру и состав передаваемой документации, предлагается формировать межсистемные интерфейсы, взяв за основу нормативное стандартизованное представление соответствующей документации.

Литература:

Е.С. Лесик, Д.А. Макаров, С.Н. Падалко докт. техн. наук, А.М. Станкевич, Базовые процессы функционирования цифровой организации — М: НТВП, 2023.

## **Особенности PR-продвижения научно-технической продукции в digital-среде (на примере деятельности Госкорпорации «Роскосмос»)**

Маркина А.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

Продвижение научных разработок является ключевым фактором развития сферы науки и техники в Российской Федерации. Это повышает интерес потенциальных заказчиков продукции высокой наукоемкости, а также способствует установлению авторитета в отрасли. Так, на PR-деятельность наукоемких предприятий современные тенденции накладывают определенные обязательства: необходимо учитывать специфику научной коммуникации в совокупности с современными инструментами [1].

Гипотеза. Можно предположить, что существуют особенности работы инструментов PR в digital-среде для продвижения научно-технической продукции.

Цель исследования: выявление особенностей PR-продвижения научно-технической продукции в digital-среде на примере деятельности Госкорпорации «Роскосмос».

В рамках исследования бы произведен анализ деятельности Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» в сети Интернет. Для исследования был взят метод контент-анализа информационных сообщений Корпорации на русскоязычных медиа-платформах в сети Интернет. Период измерения: 9 месяцев (январь-сентябрь 2023 гг.). Аудитория исследования: подписчики информационных ресурсов, на которых были опубликованы материалы по деятельности Корпорации [2].

Задачи исследования:

Изучение тенденций: определение актуальных тем и тенденций в новых медиа, связанных с космической индустрией, и адаптация контента под эти тенденции для увеличения его релевантности и привлекательности для аудитории.

Мониторинг репутации: отслеживание обсуждений и отзывов о Роскосмосе и его деятельности в новых медиа для оценки общего отношения к бренду и его проектам. Анализ сообществ научно-космической тематики.

В рамках исследования выявлены особенности PR-продвижения научно-технических проектов:

Необходимость передачи сложных концепций широкой аудитории в доступной форме [3]. Также важно акцентировать инновации: PR-продвижение основывается на новизне проекта, его потенциальных преимуществах и значимости для развития отрасли. Также в работе с высокотехнологичной сферой важно сотрудничество с научными экспертами и техническими специалистами для обеспечения достоверности и авторитетности информации, представляемой в рамках PR-кампаний.

Все это возможно применять на практике, благодаря следующим инструментам PR, которые, применяет «Роскосмос» в своей деятельности, а именно:

1) Создание информационного контента: публикация научных исследований, кейс-стади, статей, блогов и видео, объясняющих принципы работы научно-технической продукции с учетом разницы подачи информации для различных целевых аудиторий.

2) Виртуальные мероприятия: проведение вебинаров, онлайн-конференций и презентаций для взаимодействия как с научным сообществом, так и с широкой аудиторией.

3) Работа с лидерами мнений: сотрудничество с влиятельными лицами в сфере науки и техники для распространения информации о продукции посредством их информационных ресурсов.

4) Интерактивное обучение. Обучение через развлечение, то есть увеличение количества интерактивных форматов подачи научной информации о продукции Корпорации «Роскосмос».

Литература:

1. Ласточкин Р.К. Сокеран А. А. Анализ медиаактивности деятельности государственной корпорации "Роскосмос" в СМИ // Гуманитарный вестник. 2020. №3 (83).

2. Официальный сайт Госкорпорации «Роскосмос». Режим доступа: [www/roscosmos.ru](http://www.roscosmos.ru). Дата обращения: 10.10.2023.

### **Цифровая трансформация авиаотрасли: современные тренды**

Мезина Н.А., Курушина И.А., Мишунин А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Авиационный транспорт играет важную роль в мировой экономике и является одним из основных способов взаимодействия различных регионов мира, а для ряда отдаленных территорий – вообще единственным.

В современном мире цифровые технологии играют ключевую роль как в функционировании и развитии предприятий, так и в повседневной жизни людей. Цифровые технологии позволяют автоматизировать рутинные операции, повышать точность и скорость выполнения задач, а также улучшать качество продукции и услуг. Кроме того, использование цифровых технологий может снизить затраты на производство, так как позволяет оптимизировать использование ресурсов и сократить количество ошибок. Инновационные технологии и различные цифровые программы используются во всех сферах жизни общества, не исключением является и гражданская авиация.

Модернизация авиационной отрасли, цифровая трансформация воздушного транспорта, использование передовых технологий для эффективного управления аэропортовой деятельностью играют важную роль в процессе цифровизации экономики государства.

Основные направления цифровой трансформации авиационной отрасли ориентированы на взаимодействие с пользователем услуг.

Внедрение цифровых решений и инновационных технологий является главной составляющей автоматизации деятельности воздушного транспорта и повышения эксплуатационной эффективности авиапредприятий.

Актуальность цифровизации отрасли гражданской авиации обусловлена необходимостью повышения эффективности деятельности объектов авиационной инфраструктуры.

Аэропорты играют важную роль в транспортной инфраструктуре мира. Они соединяют разные города и страны, обеспечивают перевозку пассажиров и грузов, играют важную роль в экономике, способствуют развитию туризма и бизнеса. автоматизация воздушного транспорта может значительно улучшить качество обслуживания пассажиров, повысить производительность авиационных операций и снизить нагрузку на персонал. Это может быть достигнуто за счет использования технологий, таких как автоматизированные системы управления полетами, системы обработки багажа и другие. Также автоматизация может помочь в обеспечении безопасности полетов и снижении затрат на эксплуатацию аэропортов.

1. BAYOMETRIC [Электронный ресурс]- Режим доступа: <https://www.bayometric.com/the-use-of-biometric-access-control-systems-inairports/>

2. AIRPORT TECHNOLOGY [Электронный ресурс]-Режим доступа: <https://www.airport-technology.com/features/contactless-airport-boardingbiometric-technology-with-sita/>

3. AIR TRANSPORT INDUSTRY INSIGHTS. [Электронный ресурс]- Режим доступа: <https://www.sita.aero/resources/type/surveys-reports/airline-ittrendssurvey-2015>

4. Воробьев В. О. Цифровизация аэропорта — насущное требование времени. — Текст электронный // Журнал «Вестник связи». № 3.2022 (11)

5. Big data в авиационной отрасли: варианты применения. — Текст электронный // Международный научно-исследовательский журнал. № 5 (107). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/big-data-v-aviatsionnoy-otrasli-varianty-primeneniya/viewer>

6. Новые технологии авиаперевозок. — Текст электронный // Информационный бюллетень НИУ ВШЭ. URL: <https://issek.hse.ru/trendletter/news/211410732.html>

## **Вопросы модернизации и обновления вертолётов, стоящих на вооружении ВМФ России**

Мелик-Асланова Н.О., Воронцов А.М., Пурыскина А.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность темы исследования подтверждает тот факт, что большинство вертолётов, стоящих на вооружении в ВМФ России, были выпущены в 1980-х годах и устарели как морально, так и физически. Вопрос о замене летательных аппаратов на более новые модели поднимался начиная с 2014 года, но наибольшую поддержку получил в 2018 году, когда многие ОКБ начали разработки обновлённых вертолётов [16]. Однако, наибольшее внимание данная проблема привлекла к себе в 2023 году в августе [16]. В результате напряжённой политической обстановки в мире было мобилизовано большое количество авиационной техники, и проблема её физического устаревания встала довольно остро [17]. На данный момент на вооружении в ВМФ России состоят такие летательные аппараты, как: Ми-24П, Ка-57ПЛ, Ми-14 [12], Ка-31 [13], Ми-8, Ми-14ПС, Ка-29, Ка-27М, Ка-31СВ, Ка-52К, Ми-8АМТШ-ВА [14]. Стоит отметить, что все вертолёты считались лучшими в свою эпоху и уже давно успели зарекомендовать себя как надёжные и эффективные летательные средства и средства радиолокационного дозора [15].

При этом они по ряду параметров уступают современным западным образцам. Авторы исследования убеждены, что своевременные решения в отношении проектов по модернизации вертолётного парка ВМФ России являются стратегически важными в сложившихся условиях [19]. Наряду с этим, анализ ситуации показывает наличие большого количества рисков и ограничений, в частности, дефицит кадров, отсутствие доступа к инновационным западным технологиям, финансовые возможности предприятий-разработчиков и производителей, технологически устаревшее оборудование, проблемы с его ремонтом, поставкой нового и т.п. [18].

Стоит отметить, что модернизация не предполагает замены всех вертолётов, находящихся в парке ВМФ [16]. Это бы задействовало огромное количество ресурсов, что видится нереальным в сложившихся условиях. Авторы считают целесообразным оставить определённые модели в строю. Анализ всех стоящих на вооружении в ВМФ вертолётов показал, что необходимо оставить такие летательные аппараты как: Ка-31, Ка-29, Ка-27М, Ка-35, Ка-52К [15]. Данный вывод обоснован наличием современного оборудования на борту этих вертолётов, наличием современных навигационных систем, узконаправленной высококвалифицированной спецификой применения [15].

Кроме того, проанализировав современный рынок летательных аппаратов, можно выделить несколько вертолётов наиболее подходящих на роль новых моделей палубной авиации России. В их числе: Ми-171А3 [21], БАС-200 беспилотный вертолёт [22], Ми-28НМ [23]. Данные судна наиболее адаптированы к модернизации под нужды ВМФ России, имеют новейшее оборудование, высокую мобильность и манёвренность, способны выполнять специфичные задачи на воде.

В исследовании проведён сравнительный анализ основных характеристик модернизированного образца вертолёта с устаревшим, по мнению специалистов, аналогом и типовым образцом западного производства, проведена оценка инвестиционных затрат проекта модернизации, включая полный цикл до серийного производства, учтены риски проекта.

### **Анализ системы экономической безопасности госкорпорации «РОСАТОМ» в современных экономических условиях**

Мелик-Асланова Н.О., Ломакина А.Д., Алёшин А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Государственная корпорация «Росатом» является мировым лидером в области ядерных технологий. По данным 2022 года корпорация занимает первое место по обогащению урана, 3 место по добыче урана и 3 место по фабрикации ядерного топлива. Сложная геополитическая ситуация, санкционные ограничения, неопределённость условий ведения деятельности значительно повышают риски ведения хозяйственной деятельности, что подтверждает актуальность анализа системы экономической безопасности корпорации.

К основным задачам исследования относятся: оценка основных показателей финансово-хозяйственной деятельности корпорации, анализ структуры экономической безопасности корпорации, выявление основных групп рисков, изучение вопросов наличия комплаенс менеджмента и его эффективности.

Экономическая безопасность организации, в самом общем понимании, это механизм противостояния внешним и внутренним вызовам и угрозам в целях сохранения устойчивого развития, инвестиционной надежности, конкурентоспособности. В исследовании проведена классификация внешних и внутренних угроз в текущей ситуации с учетом специфики экономической деятельности корпорации [1]. Выделены основные риски экономической безопасности. По мнению авторов к внешним угрозам относится группа внешнеэкономических рисков, факторами возникновения которых выступают санкционные ограничения и волатильность курса валют.

Кроме того, есть риск потери доли рынка корпорации в связи с трендом на отказ атомных источников энергии и достаточно агрессивной деятельностью конкурентов: союза стран G7 и молодых компаний по производству ядерного топлива из КНР и Южной Кореи. На саммите G7 в Японском Саппоро объявили о стремлении объединить свои усилия для сотрудничества в области ядерного топлива с целью сокращения зависимости рынка от продукции Росатома. Так американская компания «Westinghouse Electric Corporation», которая, несмотря на угрозу банкротства, продолжает производство технологий, поддерживаемых в половине ядерных реакторов мира, а также сотрудничает с международными лидерами, такими как «Hyundai» [4]. Вторая угроза видна уже со стороны активно развивающихся Китая и Южной Кореи.

Анализ выявил, что основные внутренние риски корпорации связаны с недостатком кадровых ресурсов, в частности, с критичной нехваткой высококвалифицированных специалистов инженерно-технического профиля. Несмотря на увеличение объемов бюджетного финансирования подготовки специалистов инженерной специальности и рост реальных зарплат в отрасли, проблема кадрового резерва имеет нарастающий характер [2]. Причин тому, по мнению авторов, много: общее сокращение трудоспособного населения в стране, низкий уровень оплаты труда для начинающих специалистов, отсутствие стимулов для кадрового роста и т.п.

Руководство корпорации предпринимает действия по повышению ее экономической безопасности. В отношении отмеченных выше рисков наблюдается: 1. Осуществляется производство ядерного топлива "ТВС-Квадрат" для энергетических реакторов западного дизайна PWR [3], что повышает конкурентоспособность перед Westinghouse; 2. Производится дифференциация продукции, т.е. помимо реакторов компания предлагает развитие атомноэнергетической инфраструктуры, что не могут предложить конкуренты из Китая и Южной Кореи; 3. Внедряется стратегия «человек – центр предприятия», что позволяет решить проблему привлечения молодых специалистов.

### **Динамика сертификации аэрокосмического комплекса предприятий по международным системам менеджмента (ИСО 9000, ИСО 14000 и ИСО 45000)**

Мессинева Е.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Важным условием успешного развития предприятий аэрокосмической отрасли является внедрение интегрированных систем менеджмента, под которыми понимают часть системы общего менеджмента организации, отвечающую требованиям нескольких международных систем стандартов. Прежде всего, к ним относятся стандарты системы менеджмента качества ISO 9001, экологического менеджмента ISO 14000 и менеджмента безопасности труда и охраны здоровья ISO 45000.

Задачей данной работы был анализ динамики сертификации предприятий аэрокосмического комплекса по вышеперечисленным системам стандартов по официальным данным ISO.

За период с 2009 по 2022 годы российскими предприятиями, относящимися к 39 отраслям экономики, было получено 178756 сертификатов ISO 9001 (91,6 % общего количества

сертификатов ISO), 20083 сертификата ISO 14001 (10,23 %) и 1535 сертификатов ISO 45001 (0,78%).

Среди всего массива сертификатов ISO, полученных в РФ за анализируемый период доля, полученная предприятиями аэрокосмической отрасли, в целом составляет 1,286% (1,273 % для сертификатов ISO 9001 и 1,225% для ISO 14001). На 2022 год предприятиями аэрокосмической промышленности было получено всего 2 сертификата ISO 45001, что составляет всего 0,13% от общего количества соответствующих сертификатов, выданных в России.

Следует отметить, что в 2009-2010 годах количество сертификатов по изучаемым системам функционального менеджмента в аэрокосмической отрасли РФ было заметно выше среднемирового (почти в 3,57 раз в 2009 году и в 4.2 раза). Однако в 2011 году количество получаемых сертификатов резко снизилось, после этого в 2012-2014 годах темпы сертификации в аэрокосмической отрасли в РФ были примерно на среднем мировом уровне, и с 2015 они вновь резко снизились. Так, количество суммарное сертификатов, полученных в 2019 году предприятиями данной отрасли в РФ ниже среднемировых значений в 14.5 раз. За последующие годы ситуация принципиально не изменилась.

Стоит отметить, что темпы сертификации по всем видам сертификатов ISO на аэрокосмических предприятиях начиная с 2015 снижались быстрее, чем в среднем по экономике. Вероятно, это может быть связано, по крайней мере, с двумя факторами:

1. количество предприятий аэрокосмической отрасли не растет и многие из них уже получили все необходимые сертификаты;

2. эта отрасль в нашей стране в значительной мере регулируется на административном уровне и сильнее чем некоторые другие отрасли экономики зависит от политической ситуации.

### **Возрастание значимости HR-аналитики в российских компаниях**

<sup>1</sup>Михайлов А.А., <sup>2</sup>Степанов В.В., <sup>3</sup>Бажанов А.В.

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>АО «НПО «Техномаш», <sup>3</sup>Завод РКП АО «РКС», г. Москва, Россия

Современные кризисные условия требуют применения актуальных инструментов управления персоналом, в частности инструментов HR-аналитики. Это, в свою очередь, находит отражение в росте спроса на специалистов обладающими навыками анализа данных в сфере управления персоналом. Согласно исследованиям, проведенных специалистами рекрутинговой компании hh.ru, в России наблюдается рост числа вакансий для специалистов по подбору и управлению персоналом, где среди обязательных требований указано наличие у кандидата навыков анализа данных в HR и знание HR-аналитики [1]. Характерно то, что в российских компаниях данная тенденция наиболее явно проявляется именно в кризисные периоды.

HR-аналитика предполагает применение методов обработки данных и инструментов бизнес-аналитики к HR-данным. HR-аналитика способствует повышению качества оценки ситуации на рынке труда, а также оптимизации HR-процессов и бюджета [2]. В HR-аналитике применяются различные технологии. Так, для крупных, высокотехнологичных компаний актуально применение Big Data и искусственного интеллекта. Эти технологии позволяют структурировать, интерпретировать, визуализировать и анализировать все имеющиеся данные. В частности, применение Big Data и искусственного интеллекта способствуют: повышению производительности труда с выявлением необходимых факторов производительности; созданию модели текучести персонала с прогнозированием потенциального увольнения работников; определению кандидатов в кадровый резерв компании; получению обратной связи в реальном времени и т.д.

В современных кризисных условиях HR-аналитика выступает своеобразным трендом, позволяющим ускорить принятие управленческих решений и повысить их качество.

Литература:

1. Как меняется спрос бизнеса на HR-аналитику [Электронный ресурс]. URL: <https://hh.ru/article/30420> (дата обращения: 02.10.2023).

### **Анализ научных, технологических и экономических перспектив изучения Луны**

Москвичева Н.В., Шакин А.Д., Юркова П.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Государственная программа «Луна-25» является частью российской лунной программы и первой межпланетной станцией, созданной в НПО имени С. А. Лавочкина, с целью изучения Луны и ее окружающего пространства с помощью автоматических межпланетных станций.

«Луна-25» является достаточно дорогим проектом, он оценивается примерно в 12 миллиардов рублей. Но реализация подобных проектов несёт в себе как экономическую, так и научную выгоду, которую сложно перевести в денежный эквивалент, так как знания могут быть просто бесценны, а экономическая выгода столь большой, что это трудно представить.

С экономической и научной точек зрения, данная программа имеет ряд перспектив, в частности: «Использование ресурсов Луны», «Разработка новых технологий для реализации миссии», «Научные открытия о строении, истории и происхождение естественного спутника Земли», а также «Развитие космической индустрии».

«Использование ресурсов Луны». Луна содержит значительные ресурсы, такие как гелий-3, вода, минералы и металлы. Использование этих ресурсов может иметь значительную экономическую выгоду и потенциал для будущих космических миссий и колонизации Луны.

«Разработка новых технологий для реализации миссии». Миссия Луна-25 и другие подобные миссии требуют разработки и использования новых технологий, систем для достижения Луны, посадки и работы на её поверхности. Эти технологические разработки могут иметь применение не только в космической индустрии, но и на Земле.

«Научные открытия о строении, истории и происхождение естественного спутника Земли». Экспедиции подобные Луне-25 позволят провести детальные научные исследования Луны, что может привести к новым открытиям о происхождении естественного спутника Земли, его внутреннем строении и истории развития. Это поможет расширить наши знания о Солнечной системе и процессах, происходящих в космосе.

«Развитие космической индустрии». Успешное осуществление подобных экспедиций может способствовать развитию космической индустрии России и международного сотрудничества в сфере космических исследований. Это могут быть создание новых рабочих мест, развитие новых технологических компаний и стимулирование экономического роста.

Динамика подобных экспедиций за последние годы показывает растущий интерес стран и коммерческих организаций к исследованию Луны. Ряд стран, таких как США, Китай, Индия и Европейский союз, осуществляют свои миссии на Луну или планируют их проведение в ближайшее время. Коммерческие компании также проявляют интерес к осуществлению миссий на Луну для реализации различных целей, включая туризм и ресурсную эксплуатацию. Это свидетельствует о том, что Луна остается объектом активного исследования и стремительно развивающейся областью в космической индустрии.

Литература:

1. Трошин А.Н., Москвичева Н.В. и др. Финансовый менеджмент: Учебник. – Изд-во «ИНФРА-М», 2019, 331 с.

2. Москвичева Н.В., Бурдина А.А. Метод обоснования модернизации высокотехнологичных изделий на основе оценки стратегического риска// СТИН. - 2020. - №11. – С. 9-13.

3. <https://ko.ru/articles/obratnaya-storona-luny-vo-skolko-obkhoditsya-pokorenie-sputnika/>

4. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%83%D0%BD%D0%B0-25>

5. <https://iki.cosmos.ru/research/missions/luna-25>

## **Анализ эффективности внедрения беспилотного грузового-пассажирского транспорта в аэропортах Москвы**

Москвичева Н.В., Муравьев Н.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

Беспилотный транспорт является одним из самых актуальных направлений в развитии современной автомобильной, инженерной и IT индустрии. Реализация проектных решений по внедрению беспилотных пассажирских перевозок на территории аэропортовой инфраструктуры позволяет устранить ряд проблем, присущих современному транспортному оборудованию аэропортов. Беспилотный автобусный парк характеризуется экологичностью, управляемостью, мобильностью, позволяет затрачивать меньше человеческого и денежного ресурса, чем парк, управляемый водителями.

Направление исследования выбрано автором не случайно. Каждый, кто пользуется услугами авиакомпаний и аэропортов сталкивается с частыми задержками доставки автобуса к месту посадки, долгим ожиданием высадки, тряской и шумом. Эти факторы можно отнести к личностным причинам поиска альтернативных возможностей более комфортного передвижения пассажиров по территории аэропорта при посадке/высадке вдали от терминала.

Цель исследования – оценка социально-экономической эффективности инновационного проекта внедрения беспилотных перевозок пассажиров по территории аэропорта на примере московского аэропорта Шереметьево.

К основным задачам исследования относятся: изучение методологии анализа и оценки эффективности и риска инновационных проектов, калькуляция инвестиционных затрат проекта внедрения беспилотного транспорта в систему аэропорта Москвы, оценка рисков проекта и окупаемости проекта по деньгам и по срокам. Кроме прочего исследование предполагает анализ рынка производителей в России и дружественных странах в соответствии с нужными техническими и технологическими характеристиками беспилотного автобуса, условий поставок, включая цены, сроки, количество.

Автор исследования считает тему стратегически важной для компании, обеспечивающий перевозку пассажиров по территории аэропорта, решающей одновременно несколько задач: 1) Внедрение ESG-технологий, что крайне актуально для любого современного бизнеса; 2) Получение экономических выгод за счет сокращения издержек; 3) Решение нарастающей проблемы дефицита кадров; 4) Обеспечение безопасности и комфортности предоставляемых услуг.

Литература:

1. Трошин А.Н., Бурдина А.А., Москвичева Н.В. и др. Финансовый менеджмент. Учебник// Москва: Изд-во «ИНФРА-М», 2021. – 331 с.

2. Бурдина А.А., Бондаренко А.В. Анализ стратегической безопасности инновационной продукции. Монография//Москва: ООО «Сам Полиграфист», 2022. – 320 с.

3. Никулина Е.Н., Тарасова Е.В. Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Инвестиционное проектирование». М.: Изд-во «МАИ». – 2020. – 60 с.

4. <https://www.svo.aero/ru/main>

5. <https://www.volgabus.ru/>

## **Оценка эффективности цифрового моделирования при проектировании авиационных двигателей нового поколения с учётом стратегической безопасности**

Набиева Д.Г., Трегубенков С.Ю.

МАИ, г. Москва, Россия

Существенное влияние на характеристики эксплуатации авиационных двигателей оказывает их экономическая эффективность. По многим показателям, в том числе и экономическим, оценивают соответствие двигателя нового поколения заявленным требованиям к его конструкции и техническим характеристикам. Актуальность исследования состоит в изучении методов оценки эффективности существующих авиационных двигателей. Целью проекта по разработке или модификации двигателя

выделяется, наряду со снижением издержек, повышением стратегической эффективности изделия. Традиционные способы испытания авиационных двигателей на натуральных стендах требуют больших временных затрат и установки дорогостоящего оборудования. В связи с этим, актуальным является внедрение вычислительного эксперимента и виртуальных стендов как альтернатива натурным стендам. Таким образом, целесообразно разработать методику оценки эффективности разработки и внедрения цифрового моделирования при проектировании опытного образца авиационного двигателя нового поколения с целью обеспечения стратегической эффективности.

Определены задачи цифрового моделирования:

- Взаимосвязка виртуальных испытаний на всех стендах через интегральную модульную модель.

- Разработка базы цифровых моделей материалов для использования в виртуальных испытательных стендах с учётом их стратегической эффективности.

- Проверка достоверности функционирования цифровой схемы до её физического воплощения.

- Автоматизация передачи данных между виртуальными испытательными стендами.

- Моделирование возможных в ходе эксплуатации неисправностей.

Виртуальный стенд нового поколения должен отвечать следующим требованиям:

1. включать наглядную визуализацию всех основных органов управления;

2. моделировать интерфейсные функции приборов;

3. симулировать работу приборов на различных режимах и условиях с возникновением соответствующих погрешностей;

4. моделирование процессов должно производиться с высоким уровнем достоверности получаемых результатов;

5. одновременно связано имитировать несколько параллельно происходящих физических процессов (например, тепловые, термодинамические, прочностные, газодинамические и акустические);

6. имитировать взаимное влияние узлов ГТД друг на друга и на их совместную работу;

7. обеспечивать минимальное время получения результата и требовать минимальных вычислительных ресурсов;

8. моделировать широкий спектр возможных воздействий на объект исследования;

9. моделировать как стационарные, так и переходные процессы.

Для построения виртуальных стендов обычно используются специализированные программные продукты для концептуального проектирования и расчета характеристик ГТД российских и зарубежных разработчиков.

Для оценки эффективности цифрового моделирования предложена функция эффективности моделирования, которая включает в себя следующие параметры:

- характеристики изделия;

- стратегическая безопасность изделия;

- основные средства;

- технологии;

- кадры;

- финансовые показатели.

Таким образом, была предложена методика оценки эффективности цифрового моделирования на примере создания авиационного двигателя нового поколения с использованием технологий цифрового моделирования для испытаний авиационных двигателей с целью достижения стратегической безопасности в современных условиях.

### **Роль Союзного государства в становлении технологического суверенитета, формировании и продвижении сильного имиджа в авиакосмической области**

Назаров А.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность формирования сильного имиджа авиакосмической отрасли в контексте развивающихся российско-белорусских отношений имеет особое значение. Это связано с

тем, что информационное пространство современного мира оказывает весьма значимое влияние на общественное мнение и, соответственно, на экономические процессы, и политический дискурс.

Цель исследования – обосновать роль и значение имиджа, особенности его создания и продвижения в авиакосмической сфере, влияния на эти процессы технологического суверенитета как основы научно-технического развития.

Новизна работы обусловлена большим влиянием, уделяемым в последние годы в России политике достижения технологического суверенитета. Эта стратегия в рамках Союзного государства направлена на создание собственных технологий и продуктов, достижение независимости от зарубежных производителей, повышение конкурентоспособности отечественных компаний. Один из ключевых инструментов достижения технологического суверенитета, формирования и продвижения сильного имиджа – это поддержка научно-технических центров и инновационных стартапов.

Исследование. На основе анализа Союзных научно-исследовательских программ 1991-2022 гг. и публикаций в СМИ, дана оценка динамики, состояния и перспектив сотрудничества России и Беларуси в авиакосмической отрасли. Это взаимодействие берет начало с 1960-х годов, а первым совместным был проект по запуску спутника «Космос-3» в 1962 году. В последующие годы тесное взаимодействие продолжалось и нашло отражение в Соглашении о сотрудничестве в области использования космических технологий для мирных целей (1991 г.).

Беларусь благодаря сотрудничеству с Россией стала космической державой и в 2012 г. была принята в престижный Комитет ООН по использованию звёздного пространства в мирных целях. Россия и Беларусь совместно работают над созданием МКС, которая должна быть запущена в 2025 году. Таким образом, сотрудничество в авиакосмической сфере расширяется по другим направлениям благодаря мерам по формированию сильного имиджа этой отрасли. Ярким примером совместных PR-акций стало авиашоу «Мне бы в небо», проходившее в 2022 году в Беларуси. В рамках шоу были показаны самые передовые достижения авиадизайнеров, запущен спутник связи, созданный белорусскими и российскими специалистами.

Несомненно, полезными являются специализированные выставки, в рамках которых проводятся конференции, круглые столы и другие форматы коммуникации, направленные на обмен информацией о новинках. Хорошо зарекомендовала себя практика проведения пресс-конференций, что способствует повышению уровня информированности, как целевой аудитории, так и широкой общественности, продвигает имидж достижений Союзного государства в авиакосмической области.

Выводы. Роль Союзного государства в становлении технологического суверенитета, формировании и продвижении сильного имиджа в авиакосмической отрасли имеет большой потенциал для научного осмысления, так и для экономического роста. Одним из ключевых факторов успеха является формирование положительно имиджа достижений при подобном сотрудничестве инструментами PR.

Рекомендации. Несмотря на несомненные достижения в продвижении имиджа, к улучшениям в российско-белорусском сотрудничестве можно отнести недостаточное освещение специальных мероприятий и акций, а PR-компания по формированию и продвижению сильного имиджа должна включать в себя и задействование социальных сетей, блогов и форумов для более энергичного распространения информации.

### **Научно-исследовательская работа студентов инженерных специальностей в рамках обучения иностранным языкам в вузах авиационного профиля**

Неверова Н.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность темы определяется возрастанием к изучению иностранного языка авиационной тематики, востребованностью специалистов технологических специальностей МАИ высококвалифицированных, настроенных патриотично, с готовностью выполняющих различные задачи поставленные на современном этапе. Цель – выявить, проанализировать,

помочь реализовать персональные возможности студента в ходе преподавания иностранного языка, вовлекая его в студенческие проекты, презентации, конференции, учитывая его личные качества и возможности, выстраивая его индивидуальную траекторию. Обзор. Работы в этом направлении ведутся исследователями нашего института Аникеевой И.Г., Зубановой С.Г., Овсянниковой М.Н., Рыбаковой Л.В., Неверовой Н.В., и коллегами российских и зарубежных вузов Евсеевой А.М., Солововой, П.В., Хуторским А. В., Bonk С. J.

Одной из задач МАИ является подготовка инженеров, конструкторов, менеджеров авиационно-космической сферы с применением передовых технологий, вовлеченных в научно-исследовательскую работу. Международная база данных содержит в себе информацию в основном на английском языке. Поэтому, необходимо так научить студентов, чтобы не было проблем ни в работе с оригинальными источниками, ни с коммуникацией, ни с проведением деловых встреч, ни с работой в конструкторских бюро, отставая при этом интересы своей страны. Преподаватели иностранного языка МАИ встречают своих студентов с разным уровнем подготовки. Количество часов, отведенных на практические занятия ограничено. Но задачи поставлены – остро востребованы специалисты творческие, созидательные, грамотно владеющими знаниями, умениями, навыками, в том числе иностранным языком, полученными при обучении в технологическом вузе. Поэтому с первых занятий начинается квалифицированная шаг за шагом работа со студентами на различных уровнях, используя педагогическое мастерство, передовые технологии нашего времени и огромный опыт при постоянном совершенствовании методических подходов. Профессорско- преподавательский состав Института иностранных языков коллаборативно, т.е. совместно с обучающимися, комплексно подходит к решению данной проблеме. Это тесты для распределения на подгруппы и уровни, гибкость при прохождении учебного процесса, подбор учебно-методических пособий, выявление «слабых», не успевающих за основным процессом студентов и индивидуальная работа с ними, помощь «сильных» студентов, воспитание ответственности, товарищества, патриотичности, учеба во внутри вузовских курсах и правильное использование интернет технологий для повышения успеваемости и кругозора, участие в форумах, презентациях, тематических дискуссиях, и наконец, участие в научно-исследовательской студенческой работе, создание собственной презентации и выступление на различных конференциях. И этот перечень творчески и профессионально совершенствуется с каждым учебным семестром преподавателем. Таким образом, получая профессиональные знания и навыки (hard skills), студент МАИ приобретает социально-психологические навыки (soft skills), выстраивая свою индивидуальную траекторию. Выводы. В процессе нашей исследовательской работы подчеркивается, что вовлечение студентов инженерных специальностей в научно-исследовательскую деятельность и выступление на различных конференциях — это высококвалифицированный процесс, требующий постоянного внимания, усердия, терпения, являющийся прогрессивной неотъемлемой частью хорошей вузовской подготовки с ориентацией на успешное построение профессионального и жизненного статуса.

### **Проектирование робототехнических комплексов в множественной парадигме государственности**

Нетребская О.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

При разработке сложных робототехнических комплексов (РТК) и автономных беспилотных летательных аппаратов (БЛА) возникает проблема их надлежащего функционирования в условиях, когда групповое взаимодействие частично или полностью осуществляется без контроля со стороны человека-оператора.

Цель исследования – выявление условий, при которых разработка наукоёмких компонентов РТК (и БЛА) могла бы значительно ускориться благодаря эффективным гоструктурам.

Предложенный ранее подход к междисциплинарному исследованию частных научных теорий и технических моделей на принципах активной коммуникации субъектов (БЛА и

роботов) позволяет «узким» специалистам-разработчикам применять множественные системы понятий (парадигмы методов организации проектов), что во многих случаях обеспечивает уменьшение сложности алгоритмов и сокращение материальных затрат.

Множественная парадигма государственности в части, касающейся разработки сложных технических проектов, непосредственно реализуется путём применения множества государственных и международных стандартов. Терминология и регламенты последних иногда могут существенно различаться. Например, стандартный термин «информация» далеко не всегда практически применим в инженерных разработках БЛА. Однако, в случае применения контекстно-зависимых определений терминов, ситуация изменяется. Так, смысл данного конкретного термина «информация» из отраслевых стандартов различных ведомств с учетом контекста будет вполне применим для широкого набора как научных теорий, так и технических моделей.

Управление проектами в множественной парадигме требует формирования множества дополнительных междисциплинарных горизонтальных связей между субъектами процесса разработки с обязательным согласованием наборов используемых понятий, терминов, технологий и инструментальных средств из различных ведомственных источников, но не требует затратной смены парадигм или осуществления какой-либо новой научной революции.

Литература:

1. Нетребская О.Н., Ушаков В.Н. Общесистемный подход к междисциплинарному исследованию информационного взаимодействия в робототехнических комплексах // Труды XVII Российской научно-технической конференции «Новые информационные технологии в системах связи и управления», 6 июня 2018 г. – г. Калуга: изд-во «Ноосфера». – 426 с. ISBN 978-5-6041757-0-5. – С. 56-58. URL: <http://www.kniitmu.ru/produktsiya-i-uslugi/nauchn-deyatelnost/conferences-and-seminars/Sborniki/%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B8%D1%82%D0%BC%D1%83%202018.pdf> (дата обращения 13.10.2023).

2. Ушаков, В.Н. Моделирование в множественной системе понятий на языке СОДАР 2 / В.Н. Ушаков // Научно-техническая информация, сер. 2. №9. – 2007. С. 14-20. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9597441> (дата обращения 13.10.2023).

3. ГОСТ Р 59853-2021. Информационные технологии. М. Российский институт стандартизации, 2021. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/761/76161.pdf> (дата обращения 13.10.2023).

4. ГОСТ 33707-2016 (ISO/IEC 2382:2015) Information technology — Vocabulary. <http://centerekspt.ru/public/uploads/docs/4293751722.pdf> (дата обращения 13.10.2023).

5. Ushakov, V.N. Multiparadigm modeling by the SODAR-2 language / V.N. Ushakov // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. Volume 41. Number 5 (2007). Pp. 194-200. Allerton Press, Inc. (New York) ISSN: 0005-1055. URL: <https://link.springer.com/article/10.3103/S0005105507050032> (дата обращения: 13.10.2023).

### **Венчурный стартап индустрии авиационной**

Николенко Т.Ю., Калошина М.Н., Айриян А.С.

МАИ, г. Москва, Россия

В условиях быстро меняющегося рынка и развития новых технологий, авиационная индустрия стремится не только к оптимизации и модернизации своего основного бизнеса, но и к активному развитию предприятий и диверсификации активов. Венчурные инвестиции становятся одним из ключевых инструментов, позволяющих авиационным компаниям инвестировать в новые направления, расширяя свой портфель активов, видов деятельности и услуг, одновременно получая доступ к новейшим технологиям и инновациям.

Цель работы: оценить динамику и направления венчурных инвестиций авиационной индустрии, определить перспективы рынка стартапов в отрасли.

Методы и методология: контент-анализ, статистическая обработка данных и исследование трендов.

В работе рассмотрено 28 авиакомпаний [1-8]. Для дальнейшего анализа были отобраны 14 тех, которые продемонстрировали наибольшую инвестиционную активность. В статье определены проблемы использования авиакомпаниями венчурного капитала для стимулирования инноваций, формирования новых возможностей для роста капитализации.

Ранжирование участников: США являются основным игроком в сфере венчурных инвестиций в авиации с 72 проектами, Великобритания – 18, Австралия, Япония, Нидерланды, Малайзия, Израиль и Германия, каждая из которых имеет по 8 стартапировых сделок.

Основные результаты: С 2017 по 2022 год авиакомпании осуществили 154 инвестиционные сделки в стартапы. JetBlue Airways была наиболее активной с 41 сделкой, а Qantas Airways инвестировала 14 раз. AirAsia, KLM, El Al Airlines, IAG и United Airlines также проявили высокую активность, инвестировав в 11-12 стартапов каждая. Большая часть инвестиций шла в Big Data и персонализированные предложения для путешественников. При этом наблюдается рост интереса вложений в ESG стартапы и создания зеленых фондов. Авиакомпании активно инвестировали в B2B стартапы на стадии Early Stage и Late Stage, меньше внимания уделялось Seed Stage.

Венчурные инвестиции выступают важным механизмом для расширения бизнеса и доступа к инновациям. Через активное инвестирование в стартапы компании адаптируют бизнес под изменяющиеся условия коммерциализации, формируют стратегические направления. Анализ динамики показывает перспективность и активизацию авиакомпаний на рынке венчурных инвестиций, что позволяет обеспечить рост уровня инноваций в авиационную отрасль и повышение уровня конкурентоспособности.

Литература:

1. Crunchbase. [Онлайн база данных стартапов и инвестиций]. Доступно по адресу: <https://www.crunchbase.com>

2. JetBlue Ventures. [Официальный сайт венчурного фонда JetBlue Airways]. Доступно по адресу: <https://www.jetblueventures.com>

3. Capital A. [Официальный сайт венчурного фонда AirAsia]. Доступно по адресу: <https://www.capitala.com>

4. Mainport Innovation Fund. [Официальный сайт венчурного фонда KLM Royal Dutch Airlines]. Доступно по адресу: <https://www.mainportinnovationfund.nl>

5. Cockpit Innovation. [Официальный сайт венчурного подразделения El Al Airlines]. Доступно по адресу: <https://www.cockpitinnovation.com>

6. Hangar 51. [Официальный сайт венчурного фонда International Airlines Group]. Доступно по адресу: <https://www.hangar51.com>

7. United Airlines Ventures. [Официальный сайт венчурного фонда United Airlines]. Доступно по адресу: <https://www.unitedventures.com>

8. PitchBook. [Онлайн платформа для исследования и анализа стартапов и венчурных инвестиций]. Доступно по адресу: <https://www.pitchbook.com>

## **Применение искусственного интеллекта в обеспечении экономической безопасности предприятий**

Никулина Е.Н., Карпушкин С.С.  
МАИ, г. Москва, Россия

Теория и основные направления машинного обучения были разработаны математиками и информатиками еще в прошлом веке, но в тот период искусственный интеллект (далее ИИ) не был задействован в решении задач, которые способен решать человек. Практическое применение этого инструмента до настоящего времени сдерживалось отсутствием необходимых ресурсов для того, чтобы ИИ мог решать задачи с необходимой точностью.

В наше время ситуация изменилась. Рост в сфере компьютерных технологий открыл новые возможности и перспективы в использовании ИИ для решения определенных задач с целью автоматизации бизнес-процессов и снижения издержек. Для этого на протяжении длительного времени компании собирают большое количество данных из всех областей своей деятельности, которые могут быть использованы для обучения ИИ.

Области применения ИИ в рамках экономической безопасности обширны, и сформулировать конкретные задачи сложно, так как в зависимости от бизнеса задачи могут меняться и дополняться, но в целом области применения могут быть схожи, основные из них перечислены ниже.

ИИ используется для обнаружения и предотвращения киберугроз, таких как вредоносное ПО, фишинговые атаки и утечки данных. Алгоритмы машинного обучения могут анализировать закономерности сетевого трафика для выявления аномалий и потенциальных нарушений безопасности в режиме реального времени.

ИИ используется для оценки и снижения финансовых рисков. Модели ИИ могут предсказывать рыночные тенденции, оценивать кредитные риски и потенциальное влияние различных экономических сценариев.

Алгоритмы на основе ИИ используются для высокочастотной торговли, принимая быстрые решения на основе рыночных данных в реальном времени с минимальным вмешательством человека.

ИИ помогает оптимизировать операции в цепочке поставок, обеспечивая эффективный поток товаров и сокращая сбои на основе прогнозирования спроса, мониторинга уровня запасов и прогнозирования рисков.

ИИ может помочь в обеспечении соблюдения финансовых правил, в оценке товаров на таможене. Инструменты автоматизации и искусственного интеллекта помогают финансовым учреждениям более эффективно выявлять несоответствия или незаконную деятельность.

В таких отраслях, как производство, ИИ может предсказать, когда оборудование или техника могут выйти из строя. Это позволяет проводить упреждающее техническое обслуживание, минимизировать время простоя и снизить экономические потери.

ИИ может оптимизировать потребление энергии в различных отраслях, сокращая затраты и минимизируя воздействие на окружающую среду.

Вышеперечисленные применения ИИ в экономической безопасности постоянно развиваются, способствуя более надежному управлению рисками, более эффективному принятию решений и повышению эффективности в широком спектре секторов, что в конечном итоге способствует укреплению экономической стабильности и устойчивости предприятия.

Литература:

1. Бутл Роджер. Искусственный интеллект и экономика: Работа, богатство и благополучие в эпоху мыслящих машин. — М.: Альпина ПРО, 2023.— 424 с.

2. Суглобов А.Е. Экономическая безопасность предприятия: учеб. пособие — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2018.— 271 с.

## **Исследование вопросов развития высокотехнологичных предприятий через изменение подходов к разработке программного обеспечения**

Осипенков А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Предприятия авиастроительной отрасли являются заказчиками и потребителями передовых технологий. Оперативное внедрение и постоянное совершенствование подходов в рамках эксплуатации и развития сопровождается изменением требований к программному обеспечению.

Формирование информационных систем, удовлетворяющих требованиям оперативной адаптации к динамично изменяющимся критерия охвата, глубины и стабильности сбора и обработки информации формирует ожидания по развитию подходов к организационно-техническим способам организации разработки программного обеспечения в авиастроительной отрасли.

Ожидания от результатов процесса разработки формируются в условиях ограниченных кадровых и финансовых ресурсов и возрастающих критериев к стабильности и объемам результатов. Одним из важных аспектов также выделяется взаимодействие между участниками процесса внедрения информационных систем на разных этапах разработки от

выявления предпосылок и формирования целей к оценке ресурсов, формированию планов работ, критериев приемки и собственно разработки.

Различные способы управления (директивный, управление целями и иные) вносят существенные ограничения на возможности коммуникации между участниками процесса при отсутствии согласия между участниками. Обоснование перехода от метода к методу и инструменты для осуществления перехода на разных уровнях управления и от разных инициаторов является в настоящее время одним из ключевых факторов изменения процесса разработки.

Выработка формирования единых подходов к оценке факторов, требующих изменения формата взаимодействия заказчиков, руководителей, координаторов и исполнителей позволит существенно снизить сложность и скорость адаптации предприятий к требованиям, предъявляемых внешними и внутренними заказчиками и изменению среды деятельности.

### **Анализ концепций обеспечения эксплуатации авиационной техники**

Пелих Е.А.

МАИ, г. Москва, Россия

В рамках существующей модели эксплуатации авиационной техники в Российской Федерации взаимодействие между заказчиком авиационного комплекса и поставщиком происходит напрямую. Заключение между заказчиком и поставщиком соответствующих контрактов на поставку продукции определяет условия обеспечения и поддержания эксплуатации авиационной техники, гарантийные обязательства, а также другие существенные для заказчика факторы. При этом в части, не касающейся непосредственно поставки авиационной техники, поставщик, зачастую, берет на себя обязательства исключительно по поставке заказчику комплектующих и прочих запасных частей для их последующей замены силами эксплуатанта. Изменение концепции поддержания эксплуатации и выполнения ремонта авиационных комплексов является необходимым условием, от выполнения которого зависит состояние, срок эксплуатации и надежность всего парка воздушных судов как гражданского, так и военного назначения.

Одной из существующих парадигм обслуживания воздушного судна на этапе эксплуатации и ремонта является т.н. концепция Performance-Based Logistics (PBL). Основой концепции PBL является заключение контрактов между заказчиком и компанией-посредником на обеспечение показателей эксплуатационной надежности поставляемой продукции. Применительно к авиационной технике это означает, что компания-посредник берет на себя задачи по заключению контрактов на поставку комплектующих, логистические задачи и задачи по оперативному вводу отказавшего изделия в эксплуатацию. Тесное взаимодействие компаний-посредников с государством позволяет компании-посреднику принимать участие в работе с изделием военного назначения на всех этапах его жизненного цикла, а также использовать имеющиеся в распоряжении государственных ведомств запасы, что делает выполнение ей задач на этапах эксплуатации и ремонта наиболее эффективным.

В традиционной модели обслуживания авиационных комплексов создаются условия, при которых издержки на поддержание эксплуатации авиационной техники постоянно увеличиваются. Это связано, прежде всего, со стремлением эксплуатанта сэкономить на обслуживании на ранних этапах эксплуатации, что, в свою очередь, уменьшает наработку изделия на отказ и ведёт к увеличению издержек на протяжении срока службы изделия. В концепции PBL компания-посредник получает фиксированную плату за заранее определенные показатели надежности и в таком случае компания-посредник будет заинтересована в предотвращении ситуации, в которой её издержки будут увеличиваться. В рамках концепции PBL компания-посредник стимулируется к сокращению как количества ремонтов, так и стоимости запчастей и рабочей силы, используемых в процессе ремонта.

В связи с тем, что традиционная модель обеспечения эксплуатации применяется в Российской Федерации уже десятки лет, вопрос её модернизации и перехода на новую систему является не только комплексной задачей, требующей тщательной проработки, но и оценки целесообразности и обоснования повышения эффективности. Необходимо не только оценить объём инвестиций в новую инфраструктуру, но и разработать такую стратегию,

которая позволит сохранить показатели надежности эксплуатируемых изделий в переходный период.

### **Авиационно-космическая терминологическая система в нетехнической области применения**

Пельтихина Т.Г.

МАИ, г. Москва, Россия

На сегодняшний день космическая и авиационная сферы достаточно перспективные, поэтому дальнейшие открытия могут поспособствовать развитию космического направления не только в нашей стране, но и во всем мире. В связи с этим появляется необходимость изучения авиационно-космической терминологии и специальных слов. Некоторые из них настолько прочно укоренились в языке, что активно используются не только в специальной сфере, но и в повседневной жизни людей и даже в художественной литературе.

Актуальность данной работы обусловлена растущим интересом к теме авиации и космонавтики не только в научно-технических текстах, но и художественных произведениях. Развитие авиационно-космической отрасли способствует проникновению специальной терминологии и в обиходный лексикон человека. Цель исследования – проанализировать космическую терминологию, аббревиатуры, и космонимы в нетехнической литературе и определить значимость их использования.

В качестве материала исследования были использованы произведения, написанные в жанре научной фантастики: «Вне Земли» К.Э. Циолковского, «Марсианин» Э. Вейера, представляющие интерес в плане выявления терминов космической тематики. Объектом настоящего исследования являются термины и аббревиатуры авиакосмической сферы.

Опираясь на основу составных терминов в космической терминологии, образовалось множество аббревиатур и акронимов, которые можно наблюдать и в неспецифической сфере: НЛО, ГЛОНАСС, МКС и т.д. Также среди космических терминов и акронимов встречаются заимствования из других языков: НАСА (NASA), Джи Пи Эс (GPS), ИКАО (ICAO). Они занимают значительное место в процессе становления авиационной терминисистемы английского и русского языков. Данные термины стали неотъемлемой частью повседневного общения и перешли из разряда научных терминов в повседневный язык. Их понимают и широко используют не только эксперты космической и авиационной отрасли, но и неспециалисты. В ходе исследования были прочитаны и проанализированы «Вне Земли» К.Э. Циолковского и «Марсианин» Э. Вейера. В рамках отобранного материала был выявлен ряд космических терминов, аббревиатур и космонимов, их значение и роль в контексте художественных произведений. Также было выявлено, что употребление «космических» терминов ведет к расширению смыслового объема и даже небольшим семантическим изменениям. Например, в первом произведении автор дает следующие наименования слову «ракета»: снаряд, небесный экипаж, аппарат, что свидетельствует об отличии от первоначального использования терминов. Э. Вейер, в свою очередь, применил целый ряд космонимов в своем произведении, где очевидно удалось увидеть, что специальные слова являются источником расширения образных языковых средств в художественной литературе.

Некоторые термины и множество особых слов – космонимов находят свое применение и в художественном стиле, не неся при этом основной семантической нагрузки. Их использование связано с желанием автора выразить свое то или иное отношение к описанным событиям, выделить определенные качества и характеристики у описанного предмета или объекта.

Таким образом можно сделать вывод, что употребление специальных слов, связанных с космической тематикой, играет важную роль в нетехнической литературе, так как ведет к расширению смыслового объема и стилистических возможностей. Другими словами, авиационно-космические термины служат средством раскрытия идейного замысла писателя в художественных произведениях позволяют писателю воплотить космическую жизнь своих героев.

## Современные технологии в коммуникационной стратегии авиакомпании

Погина Н.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность. Современные технологии, а именно искусственный интеллект (ИИ) и нейросети в настоящее время играют важную роль в развитии коммуникационной стратегии авиакомпаний, особенно в условиях растущей конкуренции на рынке авиаперевозок. Их использование необходимо, так как они могут помочь авиакомпаниям улучшить свой имидж, привлечь больше пассажиров, повысить безопасность полетов и эффективно управлять своей репутацией и общественными отношениями.

Цель работы – проанализировать современные технологии, используемые в коммуникационной стратегии авиакомпаний, с целью определения их влияния на имидж, привлечение и удовлетворенность пассажиров, эффективность общественных отношений и безопасность полетов.

Обзор предыдущих исследований показывает, что данная тема вызывает значительный интерес у исследователей и практиков в авиационной индустрии. Во многих работах обсуждаются различные аспекты использования современных технологий в коммуникационной стратегии авиакомпаний, включая использование социальных сетей [1][3], мобильных приложений, онлайн-бронирования [2] и других инструментов [4] [6], однако они не исследуют полностью все аспекты этой темы, особенно в контексте ИИ. Дополнительные исследования требуются для более глубокого понимания влияния современных технологий на авиакомпании и разработки рекомендаций для их эффективного использования.

Новизна. Автор предлагает новый взгляд на использование современных технологий в коммуникационной стратегии авиакомпаний, с фокусом на исследовании использования ИИ.

Исследование описывает различные способы применения ИИ, такие как автоматизированные чат-боты для ответов на вопросы пассажиров, анализ эмоций и настроений пассажиров на основе текстовых данных, персонализацию коммуникаций и предоставление рекомендаций на основе данных о предпочтениях пассажиров и другие возможности, которые предоставляет ИИ.

Анализируются преимущества, такие как улучшение качества обслуживания, повышение эффективности коммуникаций и сокращение затрат. Также рассматриваются возможные вызовы и ограничения при использовании искусственного интеллекта в коммуникациях авиакомпаний. Исследование подчеркивает необходимость разработки и реализации инновационных коммуникационных стратегий, основанных на современных технологиях, включая искусственный интеллект, для повышения конкурентоспособности авиакомпаний и улучшения опыта пассажиров.

Выводы:

1. Использование современных технологий, включая искусственный интеллект, в коммуникационных стратегиях позволяет авиакомпаниям улучшить качество обслуживания, повысить эффективность коммуникаций и общественных отношений, оптимизировать безопасность полетов и сократить затраты.

2. Искусственный интеллект может быть использован в различных аспектах коммуникаций авиакомпаний, включая чат-боты, автоматизированные системы обработки запросов и персонализированные рекомендации для пассажиров.

3. При использовании искусственного интеллекта в коммуникациях авиакомпаний могут возникать вызовы и ограничения, такие как недостаточная надежность системы, сложности в обработке сложных запросов и потенциальные проблемы с конфиденциальностью данных.

Рекомендации:

1. Для повышения конкурентоспособности авиакомпаний и улучшения опыта пассажиров необходимо разрабатывать и реализовывать инновационные коммуникационные стратегии, основанные на современных технологиях, включая ИИ.

2. Они позволяют повышать уровень взаимодействия с пассажирами и эффективность операций.

## **Опыт замены традиционных корпоративных ценностей на единую корпоративную супер-цель в компании с государственным участием**

<sup>1</sup>Половинкина М.Е., <sup>2</sup>Филатова А.Г.

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>Публично-правовая компания «Фонд развития территорий», г. Москва, Россия

Одним из традиционных инструментов работы подразделений по управлению персоналом является внедрение в компании корпоративных ценностей.

Обычно под корпоративными ценностями понимаем перечень понятий, которые определяют правила и нормы поведения в компании, являются основой корпоративной культуры. Например, распространенными для многих компаний являются следующие ценности: уважение, профессионализм, честность, клиентоориентированность, нацеленность на результат, ответственность, открытость, командная работа, инициативность, инновационность, лидерство, доверие и другие.

Формулировать корпоративные ценности очень важно, поскольку они являются ориентиром при взаимодействии с другими компаниями, клиентами и сотрудниками. На основании ценностей строятся внутренние процессы – производство, продажи, контроль качества, подбор сотрудников, система вознаграждения и многое другое.

Если ценности не сформулированы четко или в этом направлении вообще не ведется работа, то каждый сотрудник исходит из своих собственных принципов — в результате никто в команде не может рассчитывать друг на друга, коммуникации и командное взаимодействие затруднены, и в конечном итоге общая эффективность компании находится на низком уровне.

Несмотря на важность работы с корпоративными ценностями, многие компании сталкиваются со сложностями при их внедрении или при использовании имеющихся ценностей. Поскольку ценности как кадровый инструмент устарели, многие из них из-за своей простоты выглядят в глазах сотрудников банальными и необязательными. Кроме того, ценности проще применять компаниям, которые работают непосредственно с клиентами, и достаточно сложно использовать в государственных компаниях или в компаниях, которые работают с крупным бизнесом (B2B-компания).

Эффективным решением по укреплению корпоративной культуры и внедрению корпоративных ценностей может стать решение заменить традиционные ценности на единую корпоративную супер-цель. Примером может стать опыт компании, в которой внедрена единая супер-цель «Стать самой дружной и эффективной командой». Данная цель является интуитивно понятной каждому сотруднику, в меру амбициозной и при этом включает в себе мощный заряд здорового идеализма.

По итогам опроса персонала после внедрения в компании супер-цели более 90% сотрудников отметили, что новую ценность гораздо легче запомнить, ее удобно использовать в работе и в ежедневном взаимодействии с коллегами. Теперь сотрудники не расплываются на массу важных ценностей и понятий, для них критичны только два критерия: сделать работу эффективно и при этом сохранить доброжелательные отношения с коллегами, т.е. создавать и поддерживать дружную команду. Также позитивным результатом перехода на новую супер-цель стали рост процента выполнения ключевых показателей эффективности деятельности компании и рост индекса удовлетворенности персонала (eNPS).

Литература:

1. Кожевникова Т.Ю. Корпоративная культура. Как она есть. – Москва: Эксмо, 2020. – 240 с., ISBN: 978-5-04-106320-7.

2. Моженков В. Ген директора. – Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2023. - 256 с, ISBN: 978-5-00169-428-1.

## **Цифровая трансформация ключевых процессов в авиационной отрасли**

Пронина В.А., Тихонов А.И.

МАИ, г. Москва, Россия

В авиационной индустрии, на настоящий момент, уделяется большое внимание автоматизации ключевых процессов бизнеса и созданию цифровой рабочей среды на

предприятиях Объединенной авиастроительной корпорации (ОАК). Цифровизация – уже не туманная перспектива, а неотъемлемая часть жизни современного общества. Поэтому, современные технологические решения изменили сами базовые принципы работы большинства предприятий авиационной и ракетно-космической промышленности.

В современном высокотехнологичном мире авиационная отрасль постоянно сталкивается с вызовами, связанными с необходимостью цифровой трансформации процессов. С каждым годом современные технологии развиваются, и авиационные предприятия все больше нуждаются в оптимизации и автоматизации своих операций. Цифровая трансформация становится ключевым фактором успеха в условиях жесткой конкуренции и роста требований к безопасности, экологичности и эффективности авиаперевозок.

Авиационная индустрия, как наиболее передовая отрасль машиностроения, находится в процессе активной цифровой трансформации, которая затрагивает множество аспектов этой отрасли. Прежде всего, трансформация касается цифровых технологий внутри воздушных судов. Это связано с тем, что современные воздушные суда оснащены цифровыми системами управления полетом, которые обеспечивают автоматизацию и точность операций. Это включает в себя автопилоты, системы навигации и мониторинга состояния воздушного судна. Все системы работают с использованием облачных вычислений и аналитики данных.

Авиационные компании используют облачные технологии для хранения и анализа данных. Это позволяет им улучшать обслуживание воздушных судов, прогнозировать технические проблемы и оптимизировать расходы. Сфера обслуживания пассажиров также активно интегрирует цифровые процессы в свою деятельность, используя электронные системы бронирования и онлайн-билеты. Благодаря этому, пассажиры авиакомпаний могут легко бронировать билеты и управлять своими путешествиями через онлайн-платформы и мобильные приложения. Это облегчает процесс бронирования и снижает операционные расходы авиакомпаний.

Нельзя оставить без внимания работу гражданских Беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Их использование расширяется в области наблюдения за территорией, доставки грузов и даже пассажирских перевозок. Это создает новые возможности и вызовы для авиационной индустрии. Также, цифровая трансформация включает обновление систем управления воздушным движением для оптимизации трафика, сокращения задержек и увеличения безопасности. Важно упомянуть, что цифровые технологии содействуют улучшению пассажирского опыта, включая интерактивные развлечения на борту, Wi-Fi и мобильные приложения для службы обслуживания клиентов.

Но организации могут столкнуться с рядом проблем. С ростом использования цифровых технологий растет и уровень угроз кибербезопасности. Авиационная индустрия должна активно защищать свои системы от кибератак и утечек данных для повышения эффективности, безопасности и удовлетворения клиентов. Цифровые технологии, включая эко-сознание, требуют постоянного внимания и инноваций, помогают улучшить экологическую устойчивость авиации через оптимизацию маршрутов и работы авиадвигателей, а также повышение безопасности воздушных судов через системы мониторинга и предупреждения. Цифровая трансформация — это необходимость, которая поможет авиационной отрасли стать более конкурентоустойчивой и безопасной в долгосрочной перспективе.

### **Особенности управления персоналом при процедуре импортозамещения на предприятиях авиационной промышленности**

<sup>1</sup>Просвирина Н.В., <sup>2</sup>Долженко С.Б.

<sup>1</sup>МАИ, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>УрГЭУ, г. Екатеринбург, Россия

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-10196, <https://rscf.ru/project/23-28-10196/>.

Сегодня политика импортозамещения, проводимая как на федеральном, так и на региональном уровне, является важной частью стратегии обеспечения национальной и экономической безопасности Российской Федерации.

Ученые и экономисты подчеркивают, что для реорганизации и модернизации производства требуется несколько лет, а для этого необходимы высококвалифицированные специалисты, способные по-новому организовать процессы. Однако на рынке труда таких профессионалов весьма мало. Поэтому вопросы внедрения импортозамещения на предприятиях авиационной отрасли должны рассматриваться вместе с проблемой дефицита кадров. Эксперты отмечают, что в настоящее время не хватает управленцев, способных создать конкурентоспособное производство. Стране нужны кризис-менеджеры, обладающие глубокими знаниями технологий и способные обеспечить высокую операционную эффективность.

Иными словами, в условиях импортозамещения, управление человеческими ресурсами предполагает не только обновление технологических и технических аспектов авиационного промышленного комплекса, но также создание нового качества предприятия как социально-экономической системы.

В 2014 году Правительство поставило Госкорпорациям задачу по разработке планов долгосрочного развития на период от 5 до 10 лет. Одновременно с этим, оно взяло под особый контроль процесс внедрения этих программ на 12 крупнейших предприятиях. В рамках этих программ государственные компании должны обеспечить развитие своего персонала. Однако, процесс подготовки кадров должен идти параллельно с внедрением новых технологий. В противном случае, если темпы внедрения технологий будут отставать от подготовки человеческого ресурса, профессиональные навыки работников окажутся невостребованными. Для этого предприятиям необходимо определить, каких конкретных навыков им не хватает. Особо остро проблема кадрового дефицита проявляется после модернизации на этапе расширения производства, когда предприятиям уже недостаточно просто переобучать свой персонал, а требуется активно привлекать новых сотрудников.

Поэтому процесс импортозамещения тесно связан с потребностью привлечения высококвалифицированных специалистов, зачастую уникальных профессий, чье отсутствие в настоящее время стало одним из основных ограничивающих факторов для многих предприятий. В условиях трансформации экономики и достижения технологической независимости в промышленности необходимы не только квалифицированные менеджеры и рабочие, способные создавать производство в соответствии с применяемыми стандартами, но также специалисты с новыми навыками, адаптированными к вызовам четвертой промышленной революции и эпохи цифровых технологий.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-28-10196.

Литература:

1. Тихонов А.И., Просвирова Н.В., Сазонов А.А. Организационно-экономические механизмы повышения конкурентоустойчивости предприятий авиационной индустрии в условиях санкционного давления зарубежных стран: монография / А.И. Тихонов, Н.В. Просвирова, А.А. Сазонов. - Москва: Знание-М, 2023. - 208

2. Тихонов А.И., Силюянова М.В., Просвирова Н.В. Разработка механизма оценки многоуровневой системы импортозамещения на предприятиях авиационной индустрии // Авиакосмическое приборостроение. 2023. № 6. С. 40-50.

### **Принципы построения индивидуальной учебной траектории студентов МАИ на практических занятиях по английскому языку**

Рыбакова Л.В., Хоткина Е.С.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность темы определяется тем, что на современном этапе системы образования необходима направленность на развитие личности обучающихся, построение его индивидуальной учебной траектории. Это – одно из условий кадрового обеспечения страны, что было отмечено в программе «Приоритет-2030». Необходимо выявить принципы для успешного построения ИУЧ.

Цель: определить принципы построения индивидуальной учебной траектории студентов МАИ на практических занятиях по английскому языку.

Обзор публикаций показал, что существуют следующие способы моделирования: на основе опросников, например, опросник Д. Кейрси, тест Амтхауэра, многоуровневый личностный опросник (МЛО) «Адаптивность» разработан А.Г. Маклаковым и С.В. Чермяниным; посредством информационных технологий (MOODLE, Телеграмм, самовыражение через создание подкастов, геймификации, электронных курсов; проектной работы в системе LMS); Team-building, технологий Форсайт и «перевернутый класс»; при помощи экспертной системы и математических вычислений: ИИ. А также Зайцева О.М. отмечает сетевую форму обучения как способ реализации индивидуальной образовательной траектории.

Кадыров Р.В. пишет об использовании типологии Д. Кейрси для построения данной траектории при обучении студентов, Краснова Е. А. замечает, что индивидуальная траектория обучения реализует образовательные права студентов, Махныткина О.В. отмечает оптимизацию процесса. Однако тема не является исчерпанной; недостаточно представлены научные работы об особенностях студентов технических специальностей для создания индивидуальной траектории обучения. иностранным языкам в МАИ с профессионально-ориентированным подходом

Новизна. Мы предлагаем при моделирование индивидуальной учебной траектории студентов технических авиационных вузов обратить внимание на следующие принципы, которые можно использовать в дальнейшем и при оценивании текущего статуса обучаемого по конкретной изучаемой дисциплине их совокупностью, что определит показатель качества обучения:

1. сосредоточенность – изучаемые темы;
2. корректность – оценки;
3. продуктивность – время выполнения всех заданий;
4. напряженность – время выполнения одного задания;
5. заинтересованность- подбор инструментария;
6. мотивация и перспектива – участие в НИРС.

Для выявления принципов построения ИУЧ проведено исследование в форме опроса респондентов по методологии Д. Кейрси, тестов Амтхауэра и Торренса. Были использованы авторские анкеты. Респондентами выступили 60 студентов 1 курса МАИ. Анализ проводился методом дедукции, наблюдение, сравнение, коммуникативной ситуации, математических подсчетов.

Вывод: разработанные принципы создают информационное обеспечение оценки текущего статуса обучаемого. Важно, что обучающиеся по индивидуальным учебным траекториям мотивированы и заинтересованы, что предполагает эффективный результат.

### **Повышение результативности инновационных разработок: структура плана работ при разработке критических элементов инженерного изделия и агрегатов импортозамещения**

<sup>1</sup>Сартори А.В., <sup>2</sup>Кондряков А.Д., <sup>1</sup>Марчуков Е.Ю., <sup>2</sup>Чуклинов С.В., <sup>1</sup>Соловьева А.В.

<sup>1</sup>ОКБ им. А. Люльки, <sup>2</sup>МАИ, г. Москва, Россия

Значение планирования для инновационных исследований недооценено. Планирование по конкретным результатам на стадии исследований с учетом сказанного выше позволит повысить результативность работ, сократить количество и длительности возвратов на доработку, повысить вероятность бесшовной интеграции в изделие верхнего уровня, сократить другие технологические риски. По аналогии с управлением строительными проектами, детальное ресурсное планирование, показало свою эффективность при контроле динамики проекта и ранней диагностике препятствий на критическом пути.

В исследовании рассмотрены принципы детального планирования при разработке сложного инженерного изделия. Актуальность такой задачи подтверждена рассмотрением негативного опыта при проектировании антифрикционных покрытий элементов механизации поворотных направляющих аппаратов компрессора газотурбинного двигателя, разобранным в следующем разделе. Практическая реализация предлагаемой процедуры

планирования проиллюстрирована на примере проектирования стартер-генератора газотурбинного двигателя.

На основе структурированной метрики УГТ разработан общий подход к практике детального планирования по результатам, которое позволяет оценить риски, достаточность ресурсов, реальную динамику продвижения разработки инновационного изделия. Лишь убедившись в реализуемости детального плана можно укрупнить его до дорожной карты, которую целесообразно отразить в Календарном плане договора НИОКР. При этом следует подчеркнуть, что успешность проекта по разработке инновационного изделия, агрегата, компонента, ДСЕ определяется по соответствию его результата плану работ. Основой для планирования верхнего уровня в календарном плане каждого критического элемента является последовательное синхронное достижение уровней готовности с целью достичь УГТ6 [8] перед установкой в демонстратор верхнеуровневого изделия.

Показана актуальность нового более детального подхода при планировании инновационных проектов, представлены конкретные примеры, метрики критериев, и пошаговые инструкции, демонстрирующие процедуру планирования и конкретизацию общего подхода. Исследование дает положительный ответ на острый дискуссионный вопрос о возможности и целесообразности планирования прикладных НИР. Использование предлагаемой методики планирования в управлении проектами приводит к снижению рисков, сроков разработки, повышению результативности и качества конечного изделия. Повышается оперативность принятия административных решений, а, следовательно, непроизводительные затраты на неперспективные технические решения, снижаются трудозатраты как на этапе подготовки технических заданий, так и в процессе оперативного мониторинга рисков. Управление разработкой на основе описанного в исследовании детального плана является отдельной методической задачей и выходит за рамки настоящего исследования.

Литература:

1. Электронный ресурс: сайт компании Project Management Institute. THE PROJECT ECONOMY, URL: [www.pmi.org/the-project-economy](http://www.pmi.org/the-project-economy);

2. Экономика науки, 2020 т. 6, № 1-2, С.118-134 Применение подхода уровней готовности для различных предметных направлений в бережливом НИОКР. А.В.Сартори, А.Р.Гареев, Н.А.Ильина, Н.М.Манцевич;

3. А.Д. Кондряков. Концепция электрификации авиационного двигателя // 21-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 21-25 ноября 2022 года. Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2022– 8,06 Мб [Электронное издание];

### **Исследование вопросов командообразования в системе социально-экономических отношений**

Семина А.П.

МАИ, г. Москва, Россия

Перед ракетно-космической отраслью в 2023 году стоят новые вызовы. Поставленные цели перед промышленностью невозможно достичь без грамотного управления человеческими ресурсами. Отрасль является сложной и наукоемкой, что требует комплексного подхода. Для обеспечения системной работы необходимо уметь формировать, управлять и развивать команду.

Проектная команда – это по праву ключевой ресурс при образовании любого нового проекта. Найти сильных, амбициозных, горящих людей, которые не только разделяют идеи компании, но и будут готовы свернуть горы ради их реализации в рамках реализации проекта – это, наверное, наиболее ключевая задача для проектных управляющих. .

Несмотря на то, что развитие команды находится в первом блоке системы управления, это немаловажный процесс, который необходим на постоянной основе. Под развитием команды проекта подразумевается процесс, направленный на совершенствование профессиональных и надпрофессиональных компетенций сотрудников проектной команды, чтобы обеспечить взаимодействие ее участников с общей средой проекта и компании, обеспечивая улучшение проектной деятельности.

Чтобы достичь поставленных целей, проектному менеджеру важно учитывать то, что на развитие команды проекта влияют различные факторы и составляющие. По нашему мнению, необходимо определять три ключевые категории данных составляющих: социальные, психологические и экономические.

Каждая категория составляющих имеет свою особенность воздействия на развитие персонала проектной команды. Для управляющих проектов – это ценная информация, использование которой позволяет определить действенные механизмы и инструменты, стимулирующие личностное развитие сотрудников, от чего зависит их профессионализм, а значит, и эффективность трудовой деятельности.

Литература:

1. Семина А.П. Команда как групповая форма организации труда // Вестник Алтайской академии экономики и права. — 2019. — № 12-1. — С. 128-133.
2. Семина А.П., Федотова М.А. Формирование и развитие эффективной команды // Московский экономический журнал. — 2019. — № 13. — С. 63.
3. Семина А.П., Федотова М.А. Обзор практики компаний в работе с командами // Экономика, предпринимательство и право. — 2020. — Т. 10. — № 2. — С. 365-376.
4. Семина А.П. Анализ мирового опыта решения проблем в области развития систем обучения персонала // Наука и бизнес: пути развития. — 2020. — №2(104). — С. 137-140.
5. Семина А.П. Анализ моделей и подходов в формировании команды компании // Вестник Алтайской академии экономики и права. — 2020. — № 12-2. — С. 399-404.

### **Подготовка высококвалифицированных кадров для авиационной индустрии Китая**

Семина Е.И., Ашарина О.В., Тихонов А.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Утверждение, что качественная подготовка и обучение персонала для работы в компании напрямую связана с ее устойчивым развитием, давно не подлежит спорам. Развитие талантов сотрудников всегда являлось приоритетом в сфере управления персоналом. Обучение персонала в авиационной сфере приобретает все большую актуальность, вследствие крайне быстрого темпа развития современных технологий, таких как цифровая трансформация, искусственный интеллект, облачные вычисления и др. В Китае подготовка кадров проходит с существенными отличиями от традиционных моделей, в основном, из-за крайней приверженности китайским национальным традициям. В данном докладе рассматриваются основные положения, особенности, достоинства и недостатки китайской системы подготовки высококвалифицированных кадров в сфере авиационной индустрии.

Стоит упомянуть, что развитие системы обучения персонала для авиационной сферы осуществляется в рамках 14-го Пятилетнего плана развития современной транспортной системы, опубликованного Правительством КНР в 2022 году. В нем обозначены основные моменты:

- 1) Задачи и цели по планированию обучения и переквалификации персонала в сфере авиационной отрасли.
  - Оптимизация процесса выявления ценных сотрудников и механизма отбора команд для осуществления различных проектов.
  - Привлечение активных студентов, занимающихся научной деятельностью.
  - Создание команды молодых специалистов в технологической сфере.
  - Укрепление и сближение команды высококвалифицированных специалистов.
  - Значительное увеличение количества кадров в авиационной сфере.
  - Усовершенствование системы оценки кадров.
- 2) Основные ориентиры КНР в подготовке профессионалов в авиационной области.
  - Углубление реформ в области системы оценки работы специалистов.
  - Уделение особого внимания подготовке высококвалифицированных пилотов воздушных судов.
    - Фокус на внедрение инновационных технологий в сложившуюся систему обучения персонала.
    - Строительство системы альянса транспортных аналитических центров нового типа.

• Уделение большего внимания подготовке инженеров, ученых-стратегов и прочих научно-технических кадров.

3) «Кадровый голод» в Китайской Народной Республике.

4) Влияние пандемии Covid-19 на персонал, задействованный в авиационной сфере.

5) Основные проблемы в подготовке персонала и пути их решения

6) Прогнозы развития области подготовки научных и инженерных кадров в авиационную отрасль.

Литература:

1. Ашарина О.В. Управление персоналом в Китае. влияние восточных традиций. В книге: Гагаринские чтения - 2023. Сборник тезисов докладов XLIX Международной молодежной научной конференции. Москва, 2023. С. 719.

2. Тихонов А.И., Михайлов А.А., Федотова М.А. Управление персоналом на предприятиях авиационной промышленности. Монография. М.: Знание-М, 2021. – 179 с.

### **Разработка стратегии привлечения и удержания талантов на предприятиях авиационной и ракетно-космической промышленности**

<sup>1</sup>Силантьева Е.А., <sup>2</sup>Козлова Е.Г.

<sup>1</sup>МАИ, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Государственный университет просвещения, г. Мытищи, Россия

Глобальные события в сфере экономики, политики и мировые тенденции в социальной и технологической сфере оказывают большое влияние на подходы к управлению человеческим капиталом компании, отрасли, страны. Авиационная и ракетно-космическая отрасли входят в число стратегических, высокотехнологичных отраслей экономики: потребители, продукция и компетенции специалистов уникальны. Несомненно, необходимым для деятельности данных отраслей является грамотный подход к привлечению, развитию и удержанию на предприятиях компетентных и высококвалифицированных сотрудников – «талантов», что в более глобальном смысле имеет стратегическое значение для развития экономики и безопасности страны.

При разработке комплексной стратегии по привлечению и удержанию специалистов высокой квалификации, обладающих уникальными знаниями важно соблюсти баланс в отношении выбора подхода к развитию талантов. Первый подход подразумевает, что каждый сотрудник – «талант», тогда решения по развитию и удержанию должны охватывать максимально большое количество сотрудников предприятий отрасли. Второй подход подразумевает, что «талант» — это всё же именно высококвалифицированный сотрудник, тогда должны быть разработаны алгоритмы по выстраиванию индивидуальных стратегий по подбору, развитию и удержанию «уникального» сотрудника. Современные технологические решения в области управления персоналом позволяют учесть преимущества и недостатки обоих этих подходов, оптимизировать расходы и операционную деятельность по формированию кадрового состава отраслевых компаний. При этом комплексный подход даст наибольшее преимущество в долгосрочной перспективе.

Необходимо учитывать, что привлечение и удержание сотрудников в организации – это непрерывный процесс, который включает в себя отдельные этапы. При этом некоторые компании выбирают использовать отдельные информационные системы для каждого подпроцесса, другие — создают единый портал для всех функций. Стоит отметить, что на данный момент использование этих подходов по отдельности требует больших ресурсов и могут быть неэффективны. Вот почему при реализации стратегии привлечения и удержания талантов на предприятиях высокотехнологичных отраслей подход к использованию информационных систем должен быть сбалансированным и обоснованным.

Грамотно выстроенная система привлечения и удержания талантов позволяет создавать привлекательный имидж на рынке труда, развивать и мотивировать работников, а так повысить производительность труда и уменьшить текучку кадров.

1. Силантьева Е.А. Применение методологии стратегического планирования при построении интегрированной системы подготовки профессиональных кадров ракетно-космической промышленности / Управленческий учет. – 2022. - №3-1, стр. 162-171

2. Силантьева Е.А. Источники повышения эффективности работы персонала на предприятиях ракетно-космической промышленности /Московский экономический журнал. – 2020. - №12.- с.80

3. Тихонов А.И., Пронина В.А. Подбор персонала аэрокосмических предприятий с использованием цифровых инструментов / Естественно-гуманитарные исследования. 2023. № 3 (47). С. 189-193.

### **Дополнительные возможности от использования инструментов контроля качества для анализа данных в системах менеджмента**

Смирнова Е.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Система менеджмента качества (СМК) – это часть системы управления организацией, функцией которой является обеспечение стабильного качества производимой продукции и оказываемых услуг. Построение СМК основывается на требованиях стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и особых принципах, которые обеспечивают высокий уровень качества продукции. Один из них, принятие решений на основе свидетельств, предполагает сбор, обработку, анализ и представление результатов в графической форме, что позволяет правильно определить свои последующие действия. Для этого, как минимум, необходимо использовать инструменты контроля качества. К преимуществам можно отнести то, что они наглядны, просты и доступны для понимания. Они позволяют понять важные вещи, в том числе и в ходе проведения научных исследований, когда мы разрабатываем и внедряем новый технологический процесс. К таким инструментам относятся гистограмма, контрольный листок, диаграмма разброса, графики и т.д.

В данной работе были рассмотрены некоторые из перечисленных методов, применяемых на практике для исследования свойств сплавов и технологий их получения и позволяющих повысить эффективность проведенных экспериментов. В ходе исследования были получены результаты, включающие в себя ряд показателей, в том числе степень деформации и твердость материала.

Были проведены расчёты степени деформации, включающие такие переменные, как высота образца до деформации и высота образца после деформации. Для этого мы провели измерения данных величин и рассчитали степень деформации. Измерения твердости проводились согласно ГОСТ 9012-59 по методу Бринелля на твердомере типа НВ-3000В. Данный метод заключается во вдавлении шарика под действием усилия и измерении диаметра отпечатка после снятия усилия. Каждому значению степени деформации соответствует одно значение твердости.

По полученным данным был построен график в виде ломаной линии, отражающий зависимость степени деформации от твердости. График дал возможность графически и наглядно выразить изменения используемых данных. Однако, заканчивать эксперимент на такой стадии, как это часто встречается сегодня, было бы преждевременно. Для более полного и точного эксперимента следовало бы провести несколько измерений значений твердости для выявления характера взаимосвязи между двумя параметрами. По полученным данным можно было бы изобразить диаграмму рассеяния, которая основана на применении корреляционно-регрессионного анализа. С помощью этой диаграммы можно рассчитать корреляцию, определить уравнение регрессии, а также оценить характер и тесноту связи между параметрами. Результаты применения данного метода на практике мы сможем использовать в исследованиях для прогнозирования свойств материалов с последующим улучшением качества. В дальнейшем такие исследования послужат основой при внедрении на предприятии, имеющем систему менеджмента качества.

Литература:

1. Кане, М. М. Системы, методы и инструменты менеджмента качества: учебное пособие / М. М. Кане, Б. В. Иванов, В.Н. Корешков, А.Г. Схиртладзе. – СПб.: Питер, 2008. - 560 л.

2. Гродзенский С. Я. Управление качеством: учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Проспект, 2021. – 368 с.

## Функциональные и семантические особенности метеорологических терминов в авиационном английском

Соловьева Н.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность изучения метеорологических терминов определяется их значимостью для системы управления воздушным движением и обеспечения безопасности полетов.

Цель исследования – установить сходства и отличия в использовании английских и русских метеорологических терминов, обслуживающих сферу авиации.

Авиационный английский включает три различные специализированные области: терминологию (как номенклатуру, перечень изолированных терминов), письменные и устные специализированные тексты [6]. Проводятся различия в использовании Aviation English и Aeronautical English, первый из которых подразумевает использование английского в широком ряду авиационных контекстов, тогда как второй ограничивается использованием в условиях радиобмена между пилотами и службами управления воздушным движением [5].

В отличие от предыдущих исследований, посвященных анализу структуры авиационных терминов [1; 3], проблемам их перевода [2], настоящее исследование представляет результаты сопоставления семантических и функциональных особенностей терминологических единиц, призванных передавать метеорологическую информацию для воздушных средств, находящихся в полёте. Эмпирическую базу исследования составили публикации порталов AVIA.PRO [4] и SKYbrary [7], научные статьи и учебники по авиационной метеорологии (79 английских и 85 русских текстов).

Выводы. Наиболее частотными авиационно-метеорологическими терминами следует признать cloud / облако, fog / туман, hail / град, rain / дождь, snow / снег, temperature / температура, turbulence / турбулентность, visibility / видимость, wind / ветер.

Словосочетания с перечисленными терминами передают качество и интенсивность явления, его форму, размер, тип, продолжительность, локацию, особенности движения, средства измерения и вариативность.

В обоих корпусах обнаруживаются сходные синтаксические структуры, включающие анализируемые термины: прилагательное + термин (37% в английских и 32% в русских текстах), термин + предложное словосочетание (21% в английских и 28% в русских текстах), термин + союз + существительное (15% в английских и 31% в русских текстах). В английском корпусе отмечается использование сочетаний с адъективированными терминами (18%), сочетаний причастия прошедшего времени с термином (9%). Для русского корпуса характерны словосочетания с управлением, причем термин может выступать как в качестве главного (3% от общего числа выборки), так и в качестве зависимого слова (6% от общего числа выборки).

Литература:

1. Баженов Е.В. Специальная лексика и терминообразование в сфере организации воздушного движения в гражданской авиации в русском и английском языках // *Litera*. – 2019. – № 3. – С. 75–87.

2. Рябкова Г.В. Особенности авиационно-экологической терминосистемы и способы ее перевода на русский язык // *Язык и культура*. – 2022. – № 58. С. 54–65.

3. Столбовская М.А. Многокомпонентные словосочетания в авиационном английском языке // *Филологические науки. Вопросы теории и практики*. – 2018. – № 12–2 (90). – С.389–393.

4. AVIA.PRO. [Электронный ресурс]. URL: <https://avia.pro> (дата обращения: 05.09.2023).

5. Estival D., Farris C., Molesworth B. *Aviation English: A lingua Franca for Pilots and Air Traffic Controllers*. – Routledge: New York, 2016. – 217 p.

6. Peixoto R., Pimentel J. *Aeronautical Meteorology in Aeronautical Language and in Aviation Language: a hybrid field?* // *The E-Specialist*. – 2020. – № 4. P. 1–24.

7. SKYbrary. [Электронный ресурс]. URL: <https://skybrary.aero> (дата обращения: 10.09.2023).

## **Подготовка кадров для малой авиации с целью развития медицинского туризма**

Сорокин О.О., Тихонов А.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Медицинский туризм, является большой и прибыльной отраслью в большинстве стран со стандартными медицинскими учреждениями и медицинскими работниками. В этой отрасли нормой является то, что компании, предоставляющие услуги медицинского туризма, получают прибыль за счет комиссионных от медицинских услуг, связанных с поездками. Это может быть: обеспечение приема у врача в больнице, бронирование авиабилетов, оформление транзитных виз, бронирование маршрутного транспорта, аренда автомобилей, санитарной авиации, бронирование гостиниц и многое другое. Медицинский туризм также получает доход от продажи страховых полисов, связанных с медицинским путешествием, продажи путеводителей, туров и т.д.

Сейчас вопросы медицины и здравоохранения находятся в приоритете в нашей стране, как отмечено в Поручении Заместителя Председателя Правительства РФ Д. Чернышенко от 22 декабря 2022 г. №ДЧ-П44-21973, адресованное в Минцифры и в Минздрав России. А всего лишь 20 лет назад все обращались в туристические агентства, чтобы забронировать себе отель или трансфер в какой-то стране. В сфере медицинского туризма должны быть открыты такие возможности, чтобы практически каждый мог использовать онлайн-платформы для своих нужд. В ближайшем будущем любые приемы у врача, любое лечение можно будет бронировать онлайн, что можно сделать и сейчас, но пока не так массово. Люди будут обращаться на такие глобальные платформы с целью выбрать лечение, сравнить цены в клиниках, а заодно и забронировать перелет-проживание и т.д. Обращение сферы медицинского туризма к сфере интернета неизбежно.

Проведенные исследования показывают, что число занятых туристических агентов сокращается из года в год, несмотря на то что, путешественников стало больше, чем когда-либо прежде. Это связано с тем, что путешественники используют Интернет для исследования и бронирования собственных поездок. Бизнес-модели с использованием цифровых технологий радикально изменили мир вокруг нас особенно за последние годы. Поскольку многие услуги, которые предлагают компании, были перенесены из обычных отделений в онлайн-каналы, были созданы новые предприятия, обеспечивающие новый уровень удобства и выбор для потребителей.

Важным вопросом, требующим оперативного решения, остается проблема подготовки специалистов авиационного персонала для удовлетворения нужд малой авиации. Территория Российской Федерации огромна, существует значительная неоднородность плотности населения в отдельных регионах нашей страны. Российское Руководство уделяет большое внимание обеспечению связанности территорий нашей Родины. Важнейшее значение играют масштабные Программы развития транспортной инфраструктуры России, в т.ч. и региональной аэродромной сети, а также подготовки квалифицированных кадров для нужд гражданской авиации. Комплексный план развития региональной авиации состоит из следующих составляющих:

1. Расширение инфраструктуры региональных и труднодоступных аэропортов.
2. Создание разветвленной межрегиональной сети.
3. Обеспечение новыми воздушными судами, типа SJ-100, Ил 114-300, ТВРС-44 «Ладога».

## **Определение материальных потребностей для ТОиР АТ в условиях неопределенности входных параметров расчета**

Степаненко А.Ю., Степаненко В.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Авиакомпании, эксплуатирующие авиационную технику (далее эксплуатанты), должны содержать собственный флот воздушных судов (ВС) в состоянии летной годности. Обеспечение летной годности флота ВС – это комплекс мероприятий, призванных гарантировать то условие, что выпускаемое в рейс воздушное судно содержит в своем составе только обслуженные в соответствии с регламентами агрегаты, остаточный ресурс которых – не менее, чем продолжительность предстоящего рейса. Если указанное условие не

соблюдается, агрегат с истекающим ресурсом должен быть заменен на годный, а при отсутствии такового ВС в рейс выпущено быть не может. При этом эксплуатант терпит убытки.

Таким образом, эффективное решение задачи поддержания летной годности парка ВС для эксплуатанта означает, не в последнюю очередь, поддержание соответствующих запасов агрегатов для оперативной замены. Агрегаты, как правило, дорогостоящие, и вопросы формирования рациональных запасов этих материалов связаны с поиском баланса между доступностью и стоимостью запасов.

Вопросы формирования так называемого оборотного фонда агрегатов, обеспечивающего целевой уровень сервиса, описаны в 1-й главе международного стандарта ATA SPEC-2000. Уровень сервиса – это вероятность «обнаружения» соответствующего агрегата в запасе (на складе) при возникновении в нем внеплановой потребности. Размер оборотного фонда может быть рассчитан эксплуатантом по каждой номенклатуре агрегатов ВС при условии наличия следующих исходных данных: размер парка ВС, количество агрегатов данной номенклатуры на одном ВС, годовой налет на одно ВС, нормативное время наработки на отказ агрегата, время, потребное на восстановление ресурса (ремонт) агрегата, включая транспортировку. При этом потребный уровень сервиса задается экспертно, и от него непосредственно зависит получаемый в результате расчета потребный размер оборотного фонда.

Для больших авиакомпаний, сосредоточенных на массовых грузопассажирских перевозках, предоставление всего набора исходных данных для расчета оборотного фонда не представляет большой проблемы. Но существует множество малых эксплуатантов, воздушные суда которых эксплуатируются по потребности, в условиях отсутствия какого-либо устоявшегося расписания. Предоставление данных о среднем годовом налете по ВС парка вызывает непреодолимые затруднения, при том, что обязанности по поддержанию летной годности собственного парка ВС с таких эксплуатантов никто не снимал.

В настоящей работе предлагается методика формирования необходимого для эксплуатанта набора данных о потребном количестве агрегатов в запасе в виде диапазонов возможных значений, рассчитанных по стандартизированной методике с такими исходными данными, которые способен предоставить эксплуатант.

Литература:

1. Степаненко А.Ю., Степаненко В.А. Автоматизация документооборота инженерных служб авиакомпаний // Тезисы 19-й Международной конференции «Авиация и космонавтика», 2020 г.

2. Степаненко А.Ю. Логистика снабжения: методы расчета потребностей в материалах // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – №11. – С. 255-257.

### **Взаимосвязь самооценки и уровня владения иностранным языком у студентов технических специальностей вузов авиакосмической отрасли**

<sup>1</sup>Судилина Е.В., <sup>1</sup>Журбенко Н.Л., <sup>1</sup>Шейпак О.А., <sup>2</sup>Чалова О.А.

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>Финансовый университет, г. Москва, Россия

Преобразование системы образования в РФ требует более внимательного отношения к человеческому капиталу. Задача системы высшего образования, в частности вузов высокотехнологичной авиакосмической отрасли, способствовать максимальному раскрытию потенциала каждого студента.

В рамках нашего исследования, актуальность которого определяется необходимостью повышения эффективности обучения, мы обратили внимание на взаимосвязь самооценки студента с уровнем владения иноязычными умениями. Самооценка является одним из факторов, определяющих успешность будущего специалиста авиакосмической отрасли. Недостаточно исследован вопрос взаимосвязи самооценки студентов и уровня их внимательности и осознанности, что в совокупности влияет как на обучение студентов, так и формирование у них необходимых навыков. Целью нашего исследования было выявление взаимосвязи между уровнем самооценки студента уровнем сформированности иноязычных

речевых умений и использование полученных результатов для повышения эффективности учебного процесса.

Исследование проводилось в 2022-2023 учебном году, в течение осеннего и весеннего семестров. В исследовании приняли участие 32 студента 12 и 3 институтов МАИ. Данное исследование сосредоточено на работе с заниженной самооценкой.

На начальном этапе исследования студентам было предложено выполнить несколько тестов: тест С.В. Ковалева для определения уровня самооценки; тест Дембо-Рубинштейн для выявления тех параметров, по которым самооценка студентов занижена в наибольшей степени; опросник внимательности и осознанности (Mindful Attention Awareness Scale, MAAS) для измерения полноты сознания; тест на определение уровня владения иностранным языком.

На следующем этапе исследования все данные были обработаны, проанализированы, и были получены следующие результаты: тестирование Ковалева С.В. показало, что 56% студентов имеют заниженную самооценку, 44% – среднюю, здоровой высокой самооценки нет ни у кого; анализ теста Дембо-Рубинштейн выявил, что у наибольшего числа студентов самооценка занижена по параметрам авторитет и уверенность в себе. Было обнаружено, что с ростом уровня полноты сознания происходит рост и самооценки, и было установлено, что с ростом уровня владения иностранным языком у студентов происходит снижение уровня их самооценки и уровня полноты сознания.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы: довольно большое количество студентов обладает заниженной самооценкой, при этом имея достаточно высокий уровень знания иностранного языка, а это значит, что они не используют максимально весь свой потенциал знаний; чтобы повысить самооценку, нужно повышать уровень полноты сознания и развивать необходимые личные качества.

Для работы с теми параметрами, по которым самооценка занижена в большей степени, и для повышения уровня полноты сознания в рамках занятий по иностранному языку можно применять задания для развития коммуникативных навыков и формирования объективного восприятия студентами себя и окружающего мира, например, применение вопросов сократовского диалога, задания на развитие критического мышления.

Полученные результаты могут оказать влияние на повышение эффективности учебного процесса и более эффективное использование учебного времени для повышения уровня владения иноязычными умениями студентов вузов авиакосмической отрасли в рамках использования педагогической технологии создания индивидуальной траектории обучения.

### **PR-продвижение журнала «Крылья Родины» в социальной сети «ВКонтакте»**

Тараненко А.В., Кушвахва Х.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность. За последние несколько десятилетий социальные сети стали одним из главных инструментов продвижения многих СМИ, в том числе и специализированных. Пользовательский контент, который в них размещается, повышает оперативность передачи информации и позволяет привлекать к конкретному каналу большее внимание. Касается это и специализированных изданий, посвященных авиационной тематике, интерес к которой в последнее время набирает обороты в связи с популярностью в обществе данной отрасли.

Журнал «Крылья Родины» издается с 1950 года. В 2012 году журнал получил статус СМИ, которое освещает вопросы авиации в официальных структурах власти (Совет Федерации РФ, Госдума и т.д.). в нем публикуются материалы, посвященные новинкам и истории отечественного авиапрома, а также рассказывается о специальных мероприятиях авиационной отрасли (авиасалонах и выставках).

Сообщество в социальной сети «ВКонтакте» было создано 4 августа 2014 года. На сегодняшний день у него 995 подписчиков.

Цель работы – проанализировать инструменты PR-продвижения журнала «Крылья Родины» в социальной сети «ВКонтакте» за период январь-сентябрь 2023 года.

Обзор. Исследованием продвижения проблемы специализированных изданий занимались Антропова В.В., Носаев Н.А., Середняк Л.В., Соломахины М.С., Тихонова Г.П. Однако, ни

одна из опубликованных работ не исследует PR-продвижение специализированного журнала «Крылья Родины».

Новизна. Авторами впервые была предпринята попытка исследовать основные инструменты PR-продвижения специализированного журнала «Крылья Родины» в российской социальной сети «ВКонтакте».

Исследование. Был проведен мониторинг страницы официальной странице в сети «ВКонтакте», а также мониторинг сообщений, опубликованных за 9 месяцев текущего года (с января по сентябрь 2023 года). Всего их было опубликовано 178, в среднем 19 постов в месяц. Частота публикаций составляет 2-3 дня. Больше всего постов было выложено в апреле (30) и июле (28). Все они сопровождаются фотографиями, ссылками на полнотекстовые материалы в номерах журнала.

Было установлено, что за анализируемый период редакция журнала использовала следующие инструменты PR-продвижения: инфографика, фото и видеоматериалы; раздел – «Предложить новость»; наиболее интересные статьи, опубликованные на странице с указанием времени прочтения; посты, в основном анонсирующие материалы, размещенные в журнале; информационные поводы.

Выводы:

1. Журнал «Крылья Родины» как и все каналы СМИ, имеет свою страницу в социальной сети «ВКонтакте» и использует весь стандартный набор инструментов для своего продвижения.

2. Основным инструментом PR-продвижения страницы журнала «Крылья Родины» «ВКонтакте» является пост.

3. Среднее количество опубликованных постов в месяц составляет 19 и все они сопровождаются фотографиями и гиперссылками на полнотекстовый вариант текста в конкретном номере журнала.

Рекомендации:

1. Редакции журнала необходимо проводить конкурсы среди подписчиков для увеличения количества посещений страницы. Например, конкурс на лучшую фотографию на тему авиации.

2. Увеличить количество видеоматериалов и обновить их.

## **М2М технологии на земле и в небе. Возможности и перспективы**

Тарасова Н.В., Кобец П.И., Мезина Н.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Технологии, позволяющие управлять машинами или роботами прямо со смартфона, все чаще появляются в нашей жизни, обретая название М2М – «машин ту машин». В них положены принципы взаимодействия устройств, объединенных при помощи проводных или беспроводных связей. Элементы обмениваются данными как в одно-, так и в двухстороннем направлении, при этом в любой момент возможно отследить каждое устройство в системе.

Развитие области М2М – межмашинного взаимодействия или интернета вещей, открыли двери к изменениям в управлении бизнесов, открывая все новые горизонты возможностей.

Первыми их начали развивать сотовые операторы и системные интеграторы. Сначала идея межмашинного взаимодействия тестировалась только на гаджетах и домашних устройствах. Так, например, появились системы «Умный дом». Затем компании перешли к b2b сектору и бизнесу в целом, предлагая не только связь между приборами, но и другие сервисы – к примеру, аналитику или отслеживание коммерческого транспорта.

М2М платформы позволили решать задачи по оптимизации бизнес-процессов и предлагать комплексные решения.

На высокотехнологичных предприятиях в технику стали интегрировать сим-карты, которые позволили автоматизировать весь производственный процесс. Значительно сократилось количество производственных рабочих, а в помещениях цехов многих предприятий теперь практически безлюдно: управлять всем производством стало возможно одному оператору, который следит за состоянием системы и дает ключевые команды всей системе.

Сфера применения М2М технологий обширна: это и системы безопасности, и автоматизация промышленности, логистика, торговля и здравоохранение, оснастка морских и воздушных судов системами, налаживающими канал постоянной связи с землей практически без участия человека.

Межмашинное взаимодействие уже сегодня активно входит в авиационно-космическую отрасль, прокладывая путь к высокому развитию, сокращению штата сотрудников и максимизации прибыли.

Литература:

1. Пути автоматизации [Электронный ресурс] – <http://www.c2ways.ru/2013/06/8.html>. – Режим доступа: свободный
2. Справочник 24 [Электронный ресурс] – [https://spravochnik.ru/menedzhment/upravlencheskie\\_resheniya/avtomatizaciya\\_upravlencheskog\\_o\\_resheniya/](https://spravochnik.ru/menedzhment/upravlencheskie_resheniya/avtomatizaciya_upravlencheskog_o_resheniya/) – Режим доступа: свободный.
3. Энциклопедия маркетинга [Электронный ресурс] / Интернет-проект – <https://www.marketing.spb.ru/mr/it/M2M.htm>. – Режим доступа: свободный.

### **Роль кадрового потенциала в решении проблемы импортозависимости российской авиационной промышленности**

Тихонов А.И., Коваленко В.Д.

МАИ, г. Москва, Россия

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-10196, <https://rscf.ru/project/23-28-10196/>.

Потребность в замещении импортных комплектующих, деталей или товаров постепенно нарастала во многих отраслях российской экономики с 2014 года, при этом для некоторых отраслей это стало критически важным. К таким высокотехнологичным отраслям относится авиационная промышленность, которая занимает значительное место в экономике России, а также на данный момент является одной из самых импортозависимых отраслей. При разработке механизма импортозамещения авторы выявили ряд факторов, напрямую влияющих на результативность программы импортозамещения на уровне предприятий Объединенной авиастроительной корпорации. Важнейшим определяющим фактором является кадровый потенциал.

В ходе проведения исследования была выявлена специфика кадровых ресурсов в авиационной индустрии. На предприятиях авиационного кластера Госкорпорации «Ростех» наблюдается: большой срок формирования квалифицированных кадров; малые сроки потери необходимого уровня квалификации (деквалификации) в случае простоев и/или перерывов в работе по специальности; значительные затраты на обучение; малая интенсивность и низкая результативность целевой адаптации сотрудников с неавиационной подготовкой для работы на предприятиях авиапромышленного комплекса. Большое влияние на кадровый потенциал отрасли оказывает рассредоточенность серийных заводов ОАК по территории всей страны и одновременная концентрация значительной части НИИ и ОКБ в Московском регионе.

Результатом исследования послужил научный подход к стимулированию персонала на поиски путей замещения импорта на производстве. Он заключается в доведении до сотрудников задач по замещению импортных составляющих, сырья и материалов, оборудования, технологий на отечественные аналоги, организация обучения и переобучения сотрудников по мере осуществления импортозамещения, их мотивация. Необходима организация эффективной системы мотивации работы персонала, выстраивание эффективной системы взаимодействия подразделений предприятия авиастроения, осуществление планирования в направлении импортозамещения на постоянной основе. Отмечается необходимость организации эффективной системы мотивации работы персонала, выстраивание эффективной системы взаимодействия подразделений предприятия авиастроения, осуществление планирования в направлении импортозамещения на постоянной основе.

Качественное развитие кадрового потенциала на авиационных предприятиях, а также обеспеченность квалифицированными кадрами являются ключевыми факторами в рамках

реализации политики импортозамещения в отрасли и устойчивого развития российской экономики. Модернизация экономики России может осуществляться только на базе стратегических отраслей, развитием которых сделает возможным проектирование новейших самолетов, которые будут востребованы рынком. Только в этом случае российский авиапром действительно упрочит свои конкурентные позиции на мировом рынке.

Литература:

1. Артюшик В.Д., Тихонов А.И. Импортозамещение как эффективный инструмент восстановления авиационной отрасли России // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. № 7. С. 13 – 17.
2. Артюшик В.Д., Тихонов А.И. Обеспечение импортнезависимости для повышения конкурентоустойчивости предприятий авиационной промышленности. // Управленческий учет. 2021. № 9-2. С. 343-348.

### **Снижение конфликтности персонала как ключевой инструмент повышения эффективности предприятий**

Тихонов В.А., Алексеева П.А., Краев В.М.  
МАИ, г. Москва, Россия

Эффективность предприятия зависит от четкого определения задач перед сотрудниками, взаимодействия должностных лиц и слаженной работы коллектива. Когда люди работают вместе, маловероятно, что они всегда будут ладить между собой. Различия среди индивидов, стили работы, ценности и убеждения – всё может привести к конфликту между сотрудниками. Конфликты на рабочем месте всегда будут. А.Я. Кибанов (доктор экономических наук, профессор) рассматривает конфликт как естественное столкновение разных точек зрения, как способ общения людей с разным видением ситуации.

Предприятия аэрокосмической отрасли – это производственный процесс с высоким уровнем автоматизации. Поэтому для достижения высокого уровня эффективности этих процессов необходима бесконфликтная работа сотрудников. По мнению доктора психологических наук в области психологии бизнеса А. Дурбина, межличностный конфликт – это проявление внутренних качеств сотрудников в конкурентной среде.

Успешная команда должна иметь четкую цель так, чтобы все работали ради общей цели. Двум разным людям, стремящимся к двум разным целям, будет трудно общаться друг с другом, так как каждый из них будет считать себя правым.

Основой всех существующих конфликтов является противоречие, которые возникают между сотрудниками. Снижение уровня конфликтности на рабочих местах можно добиться путем использования научных подходов во время проведения оценки результативности персонала. Различные подходы и стратегии доказали свою эффективность в разрешении конфликтов. Согласно учениям Томаса-Киллмена существует пять способов урегулирования конфликтов: кооперация, избегание, конфронтация, сотрудничество и компромисс. Стиль кооперация подразумевает удовлетворение желаний и требований каждого участника конфликта. Когда индивиды выбирают стиль избегание, они избегают конфликтов. Консенсус дает наилучший результат, поскольку он не выявляет проигравших. Решение полностью приемлемо для всех сторон. В ходе компромисса конфликтующие стороны договариваются о золотой середине. Конфронтация – это способ, который выбирают при трудовых спорах и других социальных конфликтах. Участники коллективных трудовых споров стремятся довести разногласия до крайней формы (забастовки). Сотрудничество – это способ разрешения конфликтов, при котором ведутся открытые коллективные обсуждения и достигается удовлетворение интересов конфликтующих сторон.

Вовремя выявить и предотвратить конфликт на ранней стадии – актуальная задача для предприятий.

## **Готовимся к взлету: российская гражданская авиация в условиях санкций 2023 года**

Тихонов Г.В., Мещеряков Н.Н.

МАИ, г. Москва, Россия

На протяжении десятилетий авиация в России играла ключевую роль в жизни экономики любой страны, так как она позволяет решать ключевые задачи, такие как перевозка грузов, пассажиров на дальние расстояния, в места, где применение других видов транспорта в принципе невозможно. И именно состояние авиационного сектора как в России, так и в других странах мира, является одним из ключевых факторов экономического развития страны. Также, помимо этого, одним из ключевых факторов, влиявших и влияющих на развитие российской авиационной промышленности, является политика. И очень часто определенные политические события влияют на авиационный сектор кардинальным образом. Но при чем же здесь политика?

В связи с политическими событиями 2022 года, на российскую авиапромышленность были наложены очень серьезные санкции, включающие полный запрет на покупку авиационной техники, деталей и запчастей к ним, ее техническое обслуживание. Но есть еще одно серьезное, но, которые санкции вскрыли – это обилие проблем, не решавшихся в течении десятилетий, и в самый ответственный момент, всплывших наружу. Их очень много, но перечислим основные из них:

1. Отсутствие в достаточном количестве отечественной авиационной техники и проблемы с ее производством. Закупка в 2000-х и 2010-х годах огромного количества импортных самолетов привела к снижению мотивации российских авиаперевозчиков к закупке отечественных самолетов. И как результат, в течение десятилетий многие заводы простаивали, ничего не производя, утратив компетенции в тех сферах, где у них было преимущество.

2. Недостаточное количество современных авиапредприятий. После развала СССР очень многие предприятия за 30 лет не прошли и не проходили никакой модернизации. Отсутствие своевременное прохождения модернизации не только не позволило организовать выпуск авиатехники в необходимом количестве, но и начать производить новую и высокотехнологичную авиатехнику.

3. Проблемы в аэропортах России. Ситуация с аэропортами в России во многом напоминает ситуацию с российской авиапромышленностью, но имеет в тоже время серьезные отличия – в первую очередь то, что хоть и медленно, но постепенно российские аэропорты проходят процесс модернизации. Но нерешенными проблемами остаются слабое техническое оснащение аэропортов и слабая развитость их инфраструктуры.

4. Монополизм некоторых компаний в авиационной сфере. Это тоже является серьезной проблемой, так на сегодняшний день ОАК является единственным крупным авиапроизводителем авиатехники, что приводит к снижению качества ее производства и к возникновению вопросов о ее безопасности.

Можно еще перечислить множество других проблем, но ключевыми являются именно эти 5, так как от их решения зависит и будет зависеть состояние нашей авиации и ее дальнейшие перспективы. Но решение любой проблемы начинается в первую очередь с ее обозначения и формирования. И именно когда будут обозначены эти проблемы, российская авиация сможет их успешно решить и активно начать расти.

### **Цифровая трансформация управления персоналом на предприятиях ракетно-космической индустрии**

<sup>1</sup>Тихонова С.В., <sup>2</sup>Акимов А.А.

<sup>1</sup>МАИ, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>РКК «Энергия», г. Королев, Россия

К персоналу высокотехнологичных предприятий, входящих в Госкорпорацию Роскосмос, всегда предъявлялись особые требования. Работники организаций, производящих уникальную ракетно-космическую технику, должны обладать неповторимыми, в других отраслях промышленности, компетенциями, постоянно повышать свою квалификацию. Дополнительными особенностями работодателей из аэрокосмической отрасли являются:

1. Растущие запросы на высококвалифицированный персонал, имеющий узкопрофильные и уникальные компетенции.

2. Обеспечение конкурентоустойчивости кадрового потенциала.

3. Большое разнообразие производственных и управленческих процессов, а также корпоративных культур организаций, действующих в области космонавтики и ракетостроения.

4. Кадровый резерв готовится, в основном, из числа уже действующих работников предприятий Роскосмоса.

5. Приоритетное использование независимой оценки квалификаций работников, с ориентацией на отраслевые профессиональные стандарты.

6. Активное внедрение цифровой трансформации интегрированных структур и отдельных предприятий ракетно-космической индустрии.

7. Организация целевого обучения совместно с профильными учебными организациями.

В головной российской организации по разработке пилотируемых космических систем - РКК «Энергия» имени С.П. Королева активно развиваются механизмы цифровой трансформации кадровой работы за счет внедрения прогрессивных информационных HRM-систем управления персоналом. В процессе реализации кадровой политики используются методы HR-аналитики по оценке экономической эффективности и сопутствующих рисков и выгод. Проводится организационно-экономический анализ современного состояния и обоснование перспектив развития ракетостроения и пилотируемой космонавтики в условиях цифровой трансформации.

Для наиболее эффективного управления работы с высококвалифицированным персоналом формируются кадровые резервы, укрепляется сотрудничество с образовательными организациями высшего и среднего образования, активно внедряется система наставничества, внедряются самые современные системы мотивации и оценки персонала. На предприятиях ракетно-космической промышленности интенсивно создается новая информационная среда, за счет использования отечественных информационных технологий и систем, программных продуктов и цифровой трансформации. Масштабные изменения направлены на повышение эффективности всех основных функциональных областей производственно-хозяйственной, финансово-экономической и управленческой деятельности предприятий Роскосмоса.

Литература:

1. Акимов А.А., Тихонов А.И. Цифровая трансформация: основные тенденции и влияние на систему управления персоналом предприятия // Вестник Академии знаний. 2020. № 38 (3). 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.

### **О способах речевого воздействия в новостных текстах авиационной тематики**

Трубченинова А.А.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность исследования определяется возрастающим интересом к изучению сетевых новостных текстов как ключевого компонента современного медиадискурса. Посредством новостных сообщений отображаются актуальные события различных сфер общественной жизни, в том числе и авиационной отрасли. Ее быстрое развитие обуславливает востребованность соответствующих тематических новостных порталов, которые оперативно обновляют информацию и используют определенные способы ее организации.

Новизна работы связана с прагматическим фокусом в изучении особенностей производства и восприятия авиационных новостных текстов Интернет-пространстве. Их ориентация на информирование не исключает воздействия текста на читателя, так как представление событий сквозь призму новостей всегда носит социально-регулятивный характер. Получение новых знаний подразумевает изменение представлений и мнений адресата об определенном фрагменте действительности – авиационной сфере.

Цель работы – выявление вербальных способов информирующего воздействия в новостных медиатекстах авиационной тематики. Исследование проводилось на материале сообщений немецкоязычных сайтов aerokurier.de и flugrevue.de с использованием лингвистического, контекстуально-семантического и интерпретативного методов анализа.

Проведенное исследование позволило сделать следующие выводы. Важнейшую коммуникативную нагрузку несет интродуктивный блок текста – заголовочный комплекс и вводная часть, представляющие собой усеченную версию новостного сообщения. Выполняя ориентирующую и аттрактивную функции, начальный информационный блок выступает в роли инструмента навигации по сайту. Информационная плотность заголовка достигается посредством использования как предикативных структур, так и односоставных назывных предложений, эллиптических и сегментированных конструкций. Эффективным способом установления контакта с аудиторией является вопросительная форма заголовка в сочетании с оценочной разговорной лексикой, создающей отрицательный эмотивный тон и повышающей занимательность изложения. Значимые для адресата фрагменты информационного потока вербализуют обозначения моделей летательных аппаратов, авиационного оборудования, ведущих производителей, авиакомпаний. Большим прагматическим потенциалом обладают лексемы с квантитативным смысловым компонентом, фразеологизмы-идиомы, метафорические номинации, приемы лексического повтора и аллитерации.

Более точно, подробно освещению факта или события в основном тексте сообщения способствует использование терминов и терминологических сочетаний, топонимов, цифр, временных маркеров. Для подтверждения достоверности изложенного используются цитаты – высказывания официальных лиц, представителей компаний, экспертов. Цитатная речь не только расширяет фактологическую информацию, но и позволяет расставить акценты, вовлечь адресата в процесс формирования смысла, оценки. Маркеры эксплицитной и имплицитной оценочности характерны для дополняющего новость комментария, который содержит элементы анализа, подведение итогов, прогноз. Включение в новостной текст комментирующих фрагментов обусловлено тенденцией к смешиванию, взаимопроникновению различных жанров в современном медиадискурсе.

Результаты исследования могут быть использованы в практике преподавания немецкого языка, в частности, с целью повышения медиаграмотности студентов как необходимого условия критического осмысления и интерпретации феноменов иноязычной культуры.

### **Разработка входной квалификации «Специалист по управлению персоналом»: опыт и задачи использования**

<sup>1</sup>Федотова М.А., <sup>2</sup>Тарасова В.Н.

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>РУТ (МИИТ), г. Москва, Россия

С 2014 года происходит становление новой структуры Национальной системы квалификаций. С 2020 года формирование образовательных программ по направлению «Управление персоналом» включает требования по соответствию профессиональным стандартам в части профессиональных компетенций. Заседание Национального совета по профессиональным квалификациям в сентябре 2023 года поставило задачи на расширение возможностей использования элементов независимой оценки квалификаций для программ высшего образования. В частности, поставлены задачи разработки модели совмещения государственной итоговой аттестации и независимой оценки квалификаций (Национальный совет по профессиональным квалификациям совместно с Минобрнауки России) [1].

Совет по профессиональным квалификациям в области управления персоналом в этой связи в 2023 году разработал проект входной квалификации [2]. Обозначим ряд актуальных аспектов, на которые направлен данный проект:

1. Опыт, складывающийся на современном рынке труда последние годы и отчасти усиливающийся в ситуации «кадрового голода» – студенты стремятся начать профессиональный путь с 3-4 курса бакалавриата. Введение входной квалификации в такой ситуации позволит верно указывать должность и уровень квалификации у работодателя, а для студента создаст базу предварительной оценки готовности входа в профессию [3].

2. Разрабатываемая квалификация «Специалист по персоналу – входная квалификация» предполагает знание базового комплекса основного содержания трудовых функций в соответствии с профессиональным стандартом 07.003 Специалист по управлению персоналом (утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 09.03.2022 № 109н), по которым потенциально может быть получен 6 уровень квалификации (обобщенные трудовые функции А,В,С,Д,Е,Ф).

3. Подтверждение квалификации планируется в центрах независимой оценки квалификаций при выполнении следующих условий:

- Наличие высшего или среднего непрофильного образования и получение дополнительного профессионального образования в области управления персоналом.
- Получение высшего образования по направлению «Управление персоналом».
- Получение высшего образования по образовательным программам в области управления персоналом по направлениям «Экономика» и «Менеджмент».

Сдать профессиональный экзамен возможно при подтверждении освоения не менее 60% образовательной программы.

Литература:

1. Национальное Агентство Развития Квалификаций. Протокол 76-го заседания Национального совета. [Электронный ресурс]. - URL: <https://nark.ru/news/ns/protokol-76-go-zasedaniya-natsionalnogo-soveta-pod/>

2. Совет по профессиональным квалификациям в области управления персоналом. Проект входной квалификации. [Электронный ресурс]. - URL: <http://sovethr.ru/proekty-kvalifikacij-2/?ysclid=lnnoek47bk858955363>

3. 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.

### **Цифровое управление как фактор повышения эффективности предприятий аэрокосмического комплекса**

<sup>1</sup>Федулов В.И., <sup>2</sup>Воробьева А.Г.

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия

В современном мире, насыщенном быстрыми технологическими изменениями, применение цифровых инструментов и технологий становится необходимостью для успешного функционирования и развития любой социально-экономической организации. Помимо трансформации производственного процесса, стремительная диджитализация формирует принципиально новые подходы к менеджменту как явлению. Цифровое управление позволяет автоматизировать многие аспекты деятельности предприятия, что существенно снижает временные издержки и вероятность ошибок. Современные цифровые технологии позволяют самостоятельно анализировать данные, прогнозировать возможные риски и принимать предупредительные меры, что способствует повышению эффективности деятельности организации в целом.

На сегодняшний день, цифровое управление является неотъемлемым компонентом развития современного предприятия. Особую роль оно приобретает в стратегически значимых промышленных кластерах, таких, как аэрокосмический комплекс. С помощью выстроенной системы цифрового управления организация получает возможность значительно улучшить результаты собственной деятельности, повысить качество продукции и избежать ряда возникающих рисков. Однако, чтобы успешно внедрить цифровое управление, необходимо учитывать особенности отрасли, а также грамотно организовать процесс изменений, включая обучение персонала и поддержку при интеграции новых технологий.

Диджитализация меняет традиционные роли и подходы к менеджменту, открывая ряд новых возможностей. Одно из главных изменений – возможность собирать и анализировать большее количество данных. Теперь менеджер может использовать аналитические инструменты для принятия обоснованных решений на основе полученных фактов и более точных прогнозов. Кроме того, цифровые технологии позволяют менеджеру легко

мониторить работу сотрудников, а также контролировать выполнение задач. С помощью специализированных программ и приложений можно отслеживать прогресс проектов, распределять задачи и оптимизировать трудовой процесс. Это позволяет менеджеру оперативно реагировать на изменения и устранять возникающие проблемы.

Однако применение цифрового управления на предприятиях аэрокосмического комплекса также сопряжено с определенными вызовами и проблемами. В первую очередь, это связано с необходимостью разработки и внедрения соответствующих цифровых систем, что требует значительных временных и финансовых затрат. Кроме того, необходима высокая квалификация персонала, способного работать с цифровыми технологиями. Вместе с тем, благодаря цифровым инструментам и технологиям, предприятия аэрокосмического комплекса могут реализовывать концепцию "умных" производств. Это означает, что процессы производства и управления становятся гораздо более гибкими и адаптивными к изменяющимся рыночным требованиям. Цифровое управление позволяет создать цепочку поставок, работающую с минимальными затратами, и оптимизировать производство в соответствии с рыночными потребностями.

### **Развитие и обучение персонала: опыт Университета Правительства Москвы Фивейский В.Ю.**

МАИ, г. Москва, Россия

Москва – один из самых динамично развивающихся мегаполисов мира. Крупные инфраструктурные проекты, развитие социальной сферы, вовлечение жителей в управление городом – эти и другие направления работы городских структур обеспечиваются высокопрофессиональными кросс-функциональными командами и проектными группами. Система обучения и развития кадрового состава – одна из важнейших составляющих обеспечения результата, позволяющая использовать передовые технологии и управленческие практики.

Университет Правительства Москвы – основная площадка разработки и внедрения кадровых технологий и образовательных программ для управленческих команд города. В своей работе Университет использует следующие принципы и подходы:

- Выстраивание долгосрочных партнерских отношений с ключевыми городскими заказчиками – органами государственной власти и подведомственными учреждениями; акцент не на разовое обучение, а на предложение комплексных решений.
- Формирование реестра образовательных программ и проектов с учетом текущих потребностей и стратегических планов развития заказчиков для повышения эффективности реализации городских проектов.
- Внедрение продуктового подхода – создание специальной модели по удовлетворению запросов заказчиков с фокусом на цепочке создания требуемого продукта и достижения целевого результата.
- Активное внедрение современных образовательных технологий (цифровые, дизайн мышление, иммерсивные, VR/AR технологии и др.).
- Вовлечение экспертов заказчиков в разработку/согласование образовательных программ и проектов (для создания комплексных отраслевых образовательных продуктов).

Продуктовый портфель Университета включает в себя более 200 образовательных программ – от 2-часовых семинаров (очных/дистанционных) до комплексных отраслевых двухгодичных программ профессиональной переподготовки уровня МРА (Master of Public Administration). Программы Университета разрабатываются на основе современных образовательных технологий и с учетом результатов реализации ключевых городских проектов, которые положены в основу упражнений и кейсов практической части программы. Каждая программа обеспечивается специальным пакетом методических и справочных материалов, оформленных в виде электронного справочника или дистанционного курса, включающего видео ролики, презентации, литературу и специальные электронные тренажеры.

Активно используются иммерсивные технологии в обучении: технологии виртуальной и дополненной реальности. В VR-центре Университета реализуется ряд обучающих программ

для руководителей и специалистов органов исполнительной власти, построенных в формате VR-тренажеров. Иммерсивные технологии позволяют минимизировать стресс при обучении, максимально комфортно и эффективно освоить необходимый навык.

Кроме того, Университет Правительства Москвы организует различные семинары, тренинги и конференции, на которых сотрудники могут обмениваться опытом и учиться у лучших экспертов своей отрасли. Одним из основных партнеров вуза является Московский авиационный институт – ведущий высокотехнологичный вуз России, обеспечивающий подготовку инженерных и управленческих кадров.

Рассмотренные мероприятия и программы позволяют сотрудникам расширить свои профессиональные навыки, стать более эффективными и успешными в своей работе. Практическая значимость применяемых технологий заключается в том, что их можно применять для повышения эффективности деятельности предприятий авиационно-космического комплекса России и других организаций высокотехнологичной индустрии.

### **Executive коучинг как инструмент поддержки руководителей предприятий авиакосмической промышленности при принятии сложных решений в турбулентной среде**

Фридман В.Д., Краев М.Ю.  
МАИ, г. Москва, Россия

На сегодняшний день авиационно-космическая промышленность, как и вся экономика России, столкнулась с рядом вызовов, связанных санкционной политикой, нарушением в цепочках поставок, сворачиванием международной кооперации и рядом других.

Несмотря на все сложности, наблюдается значительная активизация деятельности всех предприятий, входящих в Госкорпорации «Ростех» и Роскосмос. Появляются новые образцы современной конкурентоспособной техники, растут объемы производства, повышается производительность труда. В связи с этим важной задачей на предприятиях авиационно-космической промышленности является адаптация к новым условиям ведения бизнеса, выработка новых подходов, тактических и стратегических решений. Пройти этот путь наименее болезненно и наиболее эффективно помогают коучинговые инструменты и подход.

Коучинг — это форма профессионального сопровождения и развития, направленная на помощь клиенту в достижении своих целей, осознании своих потребностей и развитии своего потенциала. В коучинге применяются различные техники и инструменты, помогающие в адаптации клиента к текущей реальности, стимулировании мышления клиента и помощи нахождения новых путей и решений.

Executive коучинг – это форма коучинга, специально разработанная для руководителей организации и топ-команд. Он фокусируется на поддержке руководителей в развитии и улучшении их профессиональных навыков, а также в достижении конкретных бизнес-целей. Так же в executive коучинге руководители рассматриваются и как часть команды, транслирующие свою лидерскую позицию и задающие тон для всего бизнеса.

Вот некоторые особенности Executive коучинга:

1. Стратегическое ориентирование: Executive коучинг помогает руководителям разработать стратегическое видение для организации и помогает им в выполнении задач, направленных на достижение этой цели.

2. Развитие лидерских навыков: Коуч помогает руководителям развить и улучшить их лидерские навыки, такие как коммуникация, принятие решений, управление временем и развитие команды.

3. Управление изменениями: Executive коучинг помогает руководителям в управлении процессом изменений и адаптации к новым ситуациям и вызовам в организации.

4. Повышение эффективности: Руководители определяют и повышают свои навыки эффективности, а также разрабатывают стратегию для улучшения результатов, уменьшению затрат и достижения поставленных целей.

Данный доклад посвящен обоснованию актуальности и современности вышеприведенных тезисов, а также раскрытию особенностей применению коучинга на предприятиях авиационно-космической промышленности РФ.

## **Мотивация и вовлеченность персонала на предприятиях оборонно-промышленного комплекса**

Фролов В.П.

АО «Туполев», г. Москва, Россия

Дефицит кадров в ОПК препятствует выполнению гособоронзаказа. Об этом заявил Президент в ходе посещения авиационного завода в Улан-Удэ [1]. Как и многие предприятия оборонно-промышленного комплекса, АО «Туполев» столкнулось с нехваткой квалифицированных кадров и проблемой удержания и привлечения персонала.

Во исполнение поставленной Президентом задачи развивать отечественную авиацию, строить и эксплуатировать суда российского производства, что, конечно, особенно важно в условиях беспрецедентного санкционного давления, которое сегодня испытывает наша промышленность [2], удержание и привлечение персонала – одна из главных целей для АО «Туполев».

На фоне дефицита кадров, ограниченного рынка трудовых ресурсов работодателям сегодня особенно сложно удерживать и привлекать высококвалифицированных специалистов. Работники имеют высокие ожидания, обращают внимание не только на бонусы компании, но и на ее ценности, перспективы развития, возможность своего влияния на компанию. Работники хотят участвовать в улучшении деятельности на своем рабочем месте, в подразделении и организации в целом. Для этого необходимо создать условия, разработать эффективную систему мотивации и вовлеченности персонала. Вовлеченность у персонала возникает тогда, когда в организации есть та самая искра, которая дает толчок к вдохновению [3].

Вовлеченный работник рекомендует свою компанию в качестве надежного работодателя и работает в компании как можно дольше [4].

По данным компании Nau Group, уровень текучести кадров на 54 % ниже в организациях, которые следят за уровнем вовлеченности персонала и создают благоприятные условия работы [5].

Исходя из сложившихся обстоятельств и на основании полученных результатов проделанной работы, в АО «Туполев» в настоящее время формируется системный подход к данному процессу, разрабатываются мероприятия и создается внутренняя нормативная база. По итогам 2022 года в АО «Туполев» получен позитивный опыт повышения мотивации и вовлеченности персонала.

Литература:

1. Путин посетовал на кадровый дефицит в ОПК//РИА Новости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ria.ru/20230314/oprk-1857826443.html> (дата обращения: 30.09.2023).

2. Совещание о проектах в области гражданского авиастроения// Новости – Правительство России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://government.ru/http://government.ru/news/48832/> (дата обращения: 30.09.2023).

3. Чуланова О.Л., Припасаева О.И. Вовлеченность персонала организации: основные подходы, базовые принципы, практика использования в работе с персоналом//Вестник евразийской науки,

2016, № 2 (33). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vovlechnost-personala-organizatsii-osnovnye-podhody-bazovye-printsipy-praktika-ispolzovaniya-v-rabote-s-personalom> (дата обращения: 30.09.2023).

4. Коновалова В.Г. Управление вовлеченностью персонала: факторы успехов и неудач//В.Г. Коновалова//Кадровик, 2014, № 9, с. 74–84. – EDN YOBGWL.

5. Коновалова В.Г. Вовлеченность персонала: за и против//УПИРП, 2015, № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vovlechnost-personala-za-i-protiv> (дата обращения: 30.09.2023).

## **Включения в себестоимость продукции затрат разработчика на разработку объектов исключительных прав**

Чайка Н.К.

МАИ, г. Москва, Россия

Ценообразование в области государственного заказа очень строго регламентируется законодательством, но оно не предусматривает включение в себестоимость затрат на объекты интеллектуальной собственности (ОИС). Как правило, государственный заказчик не соглашается на включение таких затрат в себестоимость продукции, а причиной тому являются недостатки Приказа Минпромэнерго России от 23.08.2006 № 200, определяющего состав затрат поставочной продукции. Затраты, подлежащие компенсации на несколько порядков ниже реально затраченных средств.

Можно говорить о компенсации затраченных средств на коммерческих поставках, но компенсировать их в полной мере не удастся. В международной торговле играют роль прецеденты, среднерыночные цены и далеко не во всем предусматривают обоснование затрат.

В результате этого, предприятие несет невозполнимые прямые убытки и проблемы с заключением (срывом) государственного контракта, так как цена, которая предлагается в рамках этого контракта, не соответствует реальной себестоимости.

По данной проблеме существует лишь несколько предложений по компенсации затрат собственных средств разработчика на разработку объектов исключительных прав.

Из вышесказанного следует, что есть необходимость разработки методических принципов включения в себестоимость поставочной продукции затрат собственных средств разработчика на разработку объектов исключительных прав.

Так как на практике собственные средства вкладываются в разработку объектов исключительных прав, в статье были проанализированы правовые аспекты, касающиеся таких объектов, которые и легли в основу предложений методических принципов.

Предлагается возмещение затрат собственных средств разработчика на разработку объектов исключительных прав путем заключения договора об отчуждении исключительных прав. При этом выявлена положительная сторона, а именно – такой способ позволяет компенсировать затраты в полном объеме.

Проанализировав законодательство в области авторских прав, и на основе анализа данного предложения, был разработан первый методический принцип – для того, чтобы снять вопрос о передаче исключительных прав, не нужно осуществлять государственную регистрацию объекта.

Анализ предложения о заключении лицензионного договора о праве пользования показал, что для практической реализации требуется решение сопутствующих вспомогательных вопросов. В области государственного заказа отсутствует официальные методики определения базы, от которой будут отчисляться лицензионные платежи, и ставки роялти. Решение таких вопросов будет отнесено только на договоренности, которые, как правило, достигаются в результате длительных и сложных переговоров, а решение останется за заказчиком. Кроме того, покрыть все затраты собственных средств разработчика не удастся.

Принцип покрытия затраченных средств частями был модернизирован, и лег в основу второго методического принципа – объект исключительных прав должен являться составной частью изделия.

Так как результат интеллектуальной деятельности не имеет вещественной формы, составной частью должен являться носитель информации, что и является третьим методическим принципом.

## **Проблемы управления на предприятиях авиационно-космической отрасли**

Чайка Н.К., Демкин Д.М.

МАИ, г. Москва, Россия

Авиационно-космическая отрасль является высокотехнологичной и требует особого подхода к управлению. В связи с быстрым развитием научно-технического прогресса

проблемы управления на предприятиях авиационно-космической отрасли с каждым днем становятся все актуальнее.

Авиационно-космическая отрасль оказывает большое влияние на уровень научного, экономического и военного потенциалов России, является ведущим аспектом в их развитии. Ниже рассмотрим некоторые проблемы управления в данной отрасли.

1. Высокие технические требования и комплексность: Авиационно-космическая отрасль характеризуется сложными и требовательными техническими стандартами, и нормами, строгими требованиями к безопасности и качеству продукции. Управление на таких предприятиях требует высокой квалификации руководителей и работников, а также строгого соблюдения норм и стандартов. Данную проблему можно решить путем вмешательства государства в управленческую деятельность авиационно-космических предприятий. Правильный отбор научно-технических кадров, надзор за качественным исполнением обязанностей каждого из работников предприятия, финансирование технологических проектов, инвестирование в новое оборудование и многие другие аспекты, в которых государство может предоставить максимальную эффективность.

2. Зависимость от государственных контрактов: Авиационно-космические предприятия часто зависят от заключения государственных контрактов для своего существования и развития. Это может создавать нестабильность и риски, связанные с изменением политики государства, бюджетным финансированием и другими факторами. Для того, чтобы снизить зависимость от государственных контрактов, компании авиационно-космической отрасли должны стремиться к разнообразию своих источников дохода. Они могут искать возможности для сотрудничества с частными компаниями, исследовательскими организациями и международными партнерами. Это поможет предоставить новые возможности для развития и роста.

Важно понимать, что перечисленные проблемы вполне решаемы, и с применением соответствующих методов управления и стратегического планирования можно достичь успеха даже в сложных условиях авиационно-космической отрасли.

Литература:

1. Макаров Ю. Н., Хрусталёв Е. Ю. Экономическое обеспечение безопасного функционирования и развития ракетно-космических производств // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2012. № 5(146). С. 28–39.

### **Проблема инфляции на авиационно-космических предприятиях России**

Чайка Н.К., Шкотов Д.Д.  
МАИ, г. Москва, Россия

На сегодняшний день наблюдается заметный рост инфляции, которая в свою очередь влияет на спад производства авиационно-космических предприятий. Рассмотрим две причины этого спада:

1. Возможности отечественного производства компонентов и технологий для авиационного и космического сектора могут быть ограничены. Это означает, что предприятия должны приобретать их у зарубежных поставщиков. В таком случае, изменения в валютных курсах и инфляции могут сильно повлиять на стоимость импортированных компонентов, делая их более дорогими для отечественных предприятий. Решением этой проблемы может стать производство отечественных компонентов и технологий. А также сотрудничество с международными организациями, университетами, индустрией и другими странами может способствовать обмену знаниями, опытом, технологиями и ресурсами, что поможет в решении проблем компонентов и технологий в авиационном и космическом секторах.

2. Финансирование государством: отрасль разрабатывает крупные и долгосрочные проекты, часто с государственной поддержкой и финансированием. Однако, в условиях инфляции, государственные средства могут становиться недостаточными для полноценной реализации проектов, а инфляция может снижать их реальную стоимость.

В таких ситуациях, есть для решения данной проблемы рационализация расходов: в период инфляции предприятиям важно активно искать возможности сокращения затрат,

чтобы уменьшить влияние инфляции на их финансовое положение. Это может включать оптимизацию производственных процессов, пересмотр бюджета, сокращение издержек.

Эти проблемы требуют системного подхода и разработки мер по снижению инфляционных рисков и улучшению финансовой устойчивости авиационных космических предприятий в России. Это может включать улучшение условий финансирования отрасли, развитие внутри региональных поставщиков компонентов и технологий, а также улучшение качества управления и эффективности работы предприятий.

Литература:

1. «МегаФон» и Администрация Псковской области договорились о совместном развитии цифровой экономики. – URL: [https://corp.megafon.ru/press/news/federalnye\\_novosti/20180131-1514.html](https://corp.megafon.ru/press/news/federalnye_novosti/20180131-1514.html) (дата обращения: 01.09.2023).

2. Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». – URL: <http://government.ru/info/35568/> (дата обращения: 01.09.2023).

### **Особенности перевода английской терминологии, применяемой в сфере радиотехники и радиолокации**

Червяков В.И.

МАИ, г. Москва, Россия

Системы радиолокации продолжают активно развиваться. Проводятся интенсивные исследования, активно совершенствуется техника, появляются новые системы и технологии. Стремительное развитие этой области науки ведёт к появлению новой терминологии.

Актуальность темы нашей работы обусловлена тем, что исследуемая нами лексика динамично развивается, и представляет собой уникальный объект для лингвистического и для переводческого анализа.

Цель исследования состоит в выявлении особенностей перевода терминов, применяемых в данной сфере.

Практическим материалом исследования послужили 400 наиболее часто употребляемых английских терминов из статей, опубликованных на страницах порталов [radartutorial.eu](http://radartutorial.eu) и [cambridgepixel.com](http://cambridgepixel.com) и их русские эквиваленты из статей, опубликованных в открытых источниках.

Решены следующие задачи:

1. Проведён структурный и семантический анализ терминов. Однокомпонентные термины представлены существительными, и прилагательными, герундиальными и причастными формами. В состав двухкомпонентных терминов входят как существительное и модификатор в виде прилагательного, так и существительное, и модифицирующее существительное, либо герундиальная форма. Трёхкомпонентные термины включают сочетания из трёх существительных с различными схемами управления, и сочетания с существительным и комплексным модификатором. Многокомпонентные термины имеют разнообразную сложную структуру управления.

2. Проведён анализ приёмов перевода терминов на основе классификации переводческих трансформаций Л.С. Бархударова. Наши примеры: Radiation pattern – диаграмма направленности (перестановка, замена), Quality factor – добротность (замена, опущение), Duty cycle – скважность (замена двух лексем одной).

3. Выявлено, что наибольшее распространение получили такие приёмы передачи, как перестановка и замена, использовались дополнения и опущения.

Подводя итоги, важно отметить, что интенсивное развитие данной сферы знаний и появление новой терминологии свидетельствуют о перспективах многостороннего изучения данной темы. Результаты исследования могут быть полезны для студентов и преподавателей авиационных вузов.

## **Из опыта разработки и апробации электронного учебного курса по английскому языку на платформе LMS Moodle для магистрантов направления подготовки “Экологическая безопасность в авиационной”**

Чуксина О.В.

МАИ, г. Москва, Россия

Актуальность исследования обусловлена поиском средств повышения эффективности обучения иностранному языку в авиационном вузе.

Цель исследования заключается в сравнении эффективности обучения по разработанному электронному учебному курсу по английскому языку для магистрантов направления подготовки “Экологическая безопасность в авиационной” и учебному пособию “Совершенствование лексических навыков для работы с англоязычной научной литературой по прикладной экологии”[1].

Задачи исследования включают:

- определение типов заданий, наиболее эффективных для традиционного и электронного курса;
- сравнение результатов обучения по печатному учебному пособию и созданному на его базе электронному курсу;
- определение перспектив использования структуры данного электронного курса для других направлений магистратуры МАИ.

Методология исследования включает наблюдение за вовлеченностью и учебной деятельностью студентов в процессе обучения по учебному пособию и электронному курсу; опрос магистрантов для выявления недостатков в функционировании тестовых заданий курса и общих впечатлений от работы с курсом на платформе; анализ результатов обучения по учебному пособию и электронному курсу.

В результате проведенного исследования определены типы заданий, представляющих специфику электронного курса:

- Использование мультимедийных средств (заполнение пропусков в субтитрах после просмотра видео).

- Задания на сопоставление (термины и определения, начало и конец предложения, абзацы и заголовки).

- Тестовые задания с выбором варианта (лексические, грамматические). Удачным, на наш взгляд, является грамматическое задание по конструированию вопросительных предложений. Порядок слов и формы глаголов удобно тренировать в тестовом формате.

- Задания со свободным ответом (написание слова по транскрипции, перевод фразы). Если написание слова по транскрипции предполагает лишь один возможный вариант, то в случае с переводом фразы возможны эквивалентные варианты. Как показало опытное обучение, задания со свободным ответом являются менее надежными, так как при составлении не все потенциально правильные ответы можно предусмотреть.

- Форум для организации обучения письменному общению. В нашем курсе предлагается ответить на вопросы по содержанию дополнительных текстов и предложить свои вопросы для дальнейшего обсуждения группой. В результате получается дискуссия, приближенная к реальным условиям общения, что мотивирует и способствует вовлечению магистрантов в учебный процесс.

Анализ результатов обучения по учебному пособию и электронному курсу показал большую вовлеченность, лучшее знание лексики и сформированность письменных умений. В целом апробация электронного курса свидетельствует о его эффективности и целесообразности использования предложенной структуры и типов заданий для наполнения электронных курсов других направлений магистратуры и специального высшего образования.

## Алфавитный указатель

- А**  
Абгарян В.К. 76  
Абдуллин Р.Р. 242  
Абрамов Я.С. 6  
Авдзейко В.И. 130  
Авдюшкин А.Н. 246  
Аверин Н.В. 280  
Аветисян Б.Р. 145  
Агапов А.В. 61  
Адамян К.И. 7, 131  
Айриян А.С. 374  
Акимов А.А. 395  
Акиншин Н.В. 281  
Александр М.Б. 107  
Александров А.А. 153  
Александров А.Б. 181  
Александрова С.С. 115  
Алексеев И.Е. 281  
Алексеева П.А. 320,  
394  
Алехин В.И. 195  
Алёшин А.А. 359, 366  
Алифанов О.М. 221  
Алпатов И.В. 62  
Алсаева О.С. 282  
Альбинов Р.Р. 116  
Аметов А.А. 63  
Ананенков А.Е. 190  
Андреев А.К. 116  
Андреев Д.А. 174  
Андреев М.Е. 79  
Андреева Н.С. 117  
Андреева Э.Э. 361  
Аникеева М.И. 7  
Аникин Г.С. 198  
Анисимов С.А. 247  
Анисова Е.Н. 320  
Антонов В.А. 247  
Аплетнева Т.И. 10  
Ардатов К.В. 96  
Арсёнов А.В. 283  
Артамонов И.М. 248  
Артемов Е.А. 118, 210  
Архангельский Ю.А.  
49  
Архипов А.Н. 111  
Архицкая К.А. 64  
Арьшенский В.Ю. 285  
Арьшенский Е.В. 285  
Асаев А.С. 280, 284  
Асанидзе С.Э. 219,  
256
- Астафьев Е.А. 65  
Астахов К.А. 119  
Афутина Д.С. 12  
Ахрамович А.А. 321  
Ашарина О.В. 385  
Аюгина А.В. 65
- Б**  
Бабаевский П.Г. 290,  
310, 311, 315  
Бабич Б.П. 322  
Бабушкин А.В. 314  
Бажанов А.В. 368  
Бажура А.С. 290  
Байков А.Е. 249  
Балабанова В.А. 241  
Бараковский Ф.А. 120  
Баранов М.С. 203  
Баранов П.А. 357  
Бардин А.Б. 272  
Бардин Б.С. 246, 250,  
254  
Басов А.А. 224  
Басова А.Н. 120  
Басова В.П. 362  
Батанов М.С. 66, 95  
Батталов Т.Х. 284  
Батура Н.И. 99  
Бахтегареев И.Д. 285  
Бегендинов А.А. 8  
Белевцев А.М. 132  
Белевцов Д.А. 27  
Беличенко М.В. 251  
Белов Н.А. 303  
Белогорлов А.А. 306  
Белозерова И.Н. 244  
Белоусов И.С. 9  
Белоусов И.Ю. 10  
Белоусов Н.А. 121,  
323  
Бельский А.Б. 169  
Белявский А.Е. 203  
Беляев И.В. 23  
Беляев С.И. 122  
Березнова К.С. 265  
Бессемьянников В.В.  
317  
Бибишева Д.Р. 324  
Биндиман А.П. 67, 71  
Бобе Л.С. 220, 227  
Бобков И.А. 324  
Бобринёв М.М. 159  
Бобрышева А.О. 303
- Богатырева Е.С. 123  
Бодаков М.А. 251  
Бойцов А.Г. 281, 288  
Больших А.А. 39  
Бон А.Ф. 204  
Бондаренко А.В. 324  
Борисенко И.А. 210,  
212  
Борискин Д.Д. 190  
Борисов Д.А. 252  
Борисова Е.А. 312  
Борисова Е.В. 321  
Боровик И.Н. 67, 93,  
109  
Боровков А.И. 219,  
256  
Бородин Н.А. 326  
Бродский А.В. 137  
Брянцев А.А. 123  
Бубнов В.В. 325, 335  
Бурдин С.С. 326  
Бурдина А.А. 324  
Буриков М.В. 124  
Бурнышева Т.В. 9  
Бурова А.Ю. 68, 69  
Бусел Н.В. 85  
Бусурин В.И. 138  
Бухаров С.В. 193, 286,  
306  
Быканов В.Д. 131  
Быков Л.В. 294
- В**  
Валиуллин В.В. 70,  
204, 252  
Ванцов С.В. 125  
Варламова Е.Ю. 327  
Варфоломеев М.С. 281  
Варюхин А.Н. 251  
Васецкий С.О. 126  
Васильев Ф.А. 205  
Васин Ю.А. 228  
Васькова В.С. 253  
Венков М.А. 70  
Версин А.А. 71  
Ветохин И.С. 286  
Ветров С.Ю. 127  
Викулин М.А. 173  
Викулов А.Г. 213  
Виноградов И.В. 128  
Виноградов М.С. 196  
Виноградов О.Н. 10  
Владимилова А.А. 159

- Власова С.В. 328  
 Вознесенский Е.А. 29  
 Волков Е.В. 254  
 Волков М.И. 72  
 Волобуев Р.А. 10  
 Волчкова А.С. 120  
 Воробьева А.Г. 398  
 Воронин А.А. 73  
 Воронка Т.В. 11  
 Воронов О.С. 129  
 Воронцов А.М. 366  
 Воронцов В.А. 216,  
 235, 237  
 Ворох Д.А. 12  
 Вятков В.В. 84
- Г**  
 Гавва Л.М. 28, 46, 52  
 Гайворонский А.В.  
 311  
 Галиев Д.В. 166  
 Галкин В.И. 169, 284  
 Галкин М.Ю. 10  
 Галкина Е.Е. 205  
 Гевак Н.В. 117  
 Гейс Э.А. 239  
 Гелиев А.В. 251  
 Герасимов А.В. 198  
 Герашенко Н.Н. 329  
 Гинзбург И.Б. 123  
 Голенцов Д.А. 74  
 Гонц Д.А. 13  
 Гордеев А.А. 99  
 Гордеева М.И. 287  
 Горицкий Ю.А. 137  
 Горланов А.А. 288  
 Горохова С.А. 331  
 Горючкин В.А. 143  
 Гостев А.В. 13, 16  
 Гостев А.Ю. 206  
 Грасько Т.В. 79  
 Грибцов Д.Д. 39  
 Гривизирский П.А. 66  
 Григорова К.А. 330  
 Григоровский В.В. 85,  
 288  
 Гритчин Д.М. 58, 74  
 Гришаева С.А. 331  
 Гришанина Т.В. 38,  
 226  
 Гришина А.Ю. 15  
 Гришина Л.А. 41  
 Гуреева А.А. 182  
 Гусев А.Г. 130  
 Гусев А.Н. 242
- Гусев Е.В. 207, 213  
 Гусев С.В. 269
- Д**  
 Давыдов А.А. 84  
 Давыдов А.Д. 331  
 Давыдов П.К. 15  
 Дайнов М.И. 205  
 Данилевский А.А. 16  
 Данилов М.Д. 75, 223  
 Данильченко С.А. 255  
 Даудов В.Г. 331  
 Дворак А.В. 251, 255  
 Дегтярев С.А. 110  
 Дедова Д.В. 289  
 Демиденко С.Е. 332  
 Дёмин Н.А. 17  
 Демкин Д.М. 402  
 Демченко Д.С. 76  
 Денискин Ю.И. 20  
 Денисов В.А. 130  
 Денисов М.А. 18  
 Денисов С.Л. 77  
 Денисова О.И. 333  
 Десятник П.А. 49  
 Дикарев В.А. 243, 244  
 Дикова Ф.А. 344  
 Довгопол Д.В. 334  
 Долгушев В.Г. 17  
 Долженко С.Б. 381  
 Дриц А.М. 293  
 Дроздова А.А. 130  
 Дружинин А.А. 7, 131  
 Дрягин И.О. 132  
 Дубинина Н.М. 325,  
 335  
 Дубовицкий А.Д. 224  
 Дубровин Д.М. 133
- Е**  
 Егоров А.В. 134, 205  
 Егоров В.В. 191  
 Ежов А.Д. 30, 58, 106,  
 294  
 Ельников Р.В. 210  
 Ельцова А.А. 299  
 Емельянов К.В. 290  
 Епанешникова И.К.  
 132  
 Ерёмин С.А. 305  
 Ерисов Я.А. 19  
 Ермаков А.А. 336  
 Ермаков П.Г. 240  
 Ермакова М.О. 64, 78  
 Ермилина Д.В. 208  
 Ермолаева Е.Н. 337
- Ерохин А.П. 20  
 Есипов А.А. 135  
 Есипова И.С. 348  
 Ефремов А.А. 43  
 Ефремов А.В. 15, 28,  
 43, 59
- Ж**  
 Железнов И.В. 209,  
 232  
 Железнов Л.П. 9  
 Жечев Е.С. 255  
 Жиганин А.Я. 166  
 Жуков А.А. 192, 252  
 Жуков Г.Е. 210  
 Жуков Е.Ю. 291  
 Журбенко А.С. 313  
 Журбенко Н.Л. 338,  
 390
- З**  
 Забровский И.С. 79  
 Завтур П.С. 123  
 Завьялова Н.А. 278  
 Загидуллин Р.С. 21,  
 292, 339  
 Заиров А.В. 292  
 Зайнетдинова Г.Т. 317  
 Зайнуллина Д.М. 219,  
 256  
 Зайцев Д.Д. 22  
 Зайцев М.Д. 136, 183,  
 210  
 Зайцева А.С. 340  
 Зайчик Л.Е. 49  
 Замашкин В.Ю. 137  
 Замтфорт Б.С. 23  
 Замышляев Д.А. 224  
 Запетляев В.М. 192  
 Зарубин Р.А. 23  
 Захаров В.С. 269  
 Захаров И.В. 241  
 Захарова А.И. 137  
 Захарова Е.С. 280  
 Захарова Л.Ф. 341  
 Зверьев Е.М. 276  
 Звонарёва Г.А. 143,  
 174  
 Земляный Е.С. 179  
 Земсков А.А. 255  
 Зинник Д.С. 105  
 Зо Л.Х. 138  
 Золотенкова М.К. 191  
 Зорин И.А. 293  
 Зотикова П.В. 80  
 Зубко А.А. 106

- Зульфугаров Т.З. 50
- И**
- Иванов В.П. 163
- Иванов И.Г. 81
- Иванов И.И. 107
- Иванов Н.С. 252
- Иванцов Д.Б. 115
- Иванюхин А.В. 211
- Иващенко М.О. 210, 212
- Ивчин В.А. 33
- Игнаткин Ю.М. 33, 59
- Ильенко Д.Ю. 342
- Ильин В.В. 213
- Ильинская О.И. 90, 102
- Ильченко А.В. 139, 151
- Ионов А.В. 61
- Иргалсеев И.Х. 15
- Искандарова О.Ю. 343
- Исмагилов А.Р. 249
- К**
- Кабанов А.С. 205
- Кадеев Д.М. 247
- Казанцев С.А. 288
- Казеннов И.С. 112
- Калашников А.И. 24
- Каленский С.М. 97
- Каликанов А.В. 140, 141
- Калошина М.Н. 374
- Камалетдинова Г.Р. 243
- Кара Г.Ю. 25
- Каранэ М.С. 257
- Карбовская В.В. 343
- Каргаев М.В. 48
- Карепин П.А. 82
- Карпухина А.В. 142, 152
- Карпушкин С.С. 375
- Картуков А.В. 191, 193
- Каршанов И.Ф. 344
- Карягин И.А. 213
- Касаткин А.А. 258
- Касаткин А.С. 143
- Катанов М.А. 83
- Квашнин В.М. 169
- Кейно П.П. 123, 133, 134, 144, 158, 161, 178
- Кербер Л.С. 345
- Кикина А.Ю. 243, 244
- Ким А.В. 337
- Кириллов В.С. 12
- Кириллов В.Ю. 145
- Кирпичёв А.И. 251
- Киселев В.П. 30, 58, 106, 294
- Киселев И.В. 193
- Клименко Д.В. 83
- Климов А.А. 346
- Климов И.С. 26
- Клочкова Е.Н. 145
- Клыкков П.П. 27
- Кобец П.И. 392
- Ковалева Н.Н. 84
- Коваленко А.С. 85
- Коваленко В.Д. 393
- Ковальчук А.С. 347, 348
- Ковтун М.А. 205
- Кожевников Г.Д. 87
- Козлов Н.А. 290
- Козлова Е.Г. 386
- Козырев Н.А. 144
- Козырева У.Р. 348
- Козырь А.В. 239
- Колбасов В.Н. 146
- Колобов М.А. 214
- Коломин И.В. 105
- Колосова В.В. 349
- Комарова Н.В. 351
- Кондратьев В.Н. 295
- Кондратьев Д.В. 352
- Кондрашов Ю.Н. 123
- Кондряков А.Д. 86, 383
- Коновалова В.Г. 352
- Коноплев Ю.В. 159
- Копылов Д.А. 136, 183
- Копьев В.Ф. 99
- Корж С.Е. 259, 268
- Корзун Ф.А. 28
- Коробейников Е.В. 37
- Коробков М.А. 147
- Королев Д.Д. 87
- Королёв Е.В. 259
- Корольский В.В. 28
- Корсаков С.В. 215, 353
- Кос О.И. 148
- Косенко И.И. 260
- Косоогов П.Ю. 193
- Костелецкий В.П. 149
- Костин А.С. 29
- Котельников М.В. 88
- Котович И.В. 30, 294
- Кохановский В.Е. 156
- Кочетков Н.Ю. 68
- Кошкин А.Н. 17
- Краев В.М. 354, 394
- Краев М.Ю. 400
- Красноперов П.М. 355
- Кривень Г.И. 296, 309
- Кривун К.В. 83
- Кривушов А.И. 159
- Круглянкин В.С. 262
- Крюков В.В. 89
- Крючков В.Л. 132
- Кудрянцева И.А. 270
- Кудрянцева Н.С. 203
- Кузина М.А. 356
- Кузнич А.А. 297
- Кузнецов А.А. 269, 278
- Кузнецов П.М. 121, 122
- Кузьмин А.А. 45
- Кузьмин Е.В. 89
- Кулешов А.С. 260
- Куприков М.Ю. 7
- Куприянова Я.А. 31
- Куракина А.С. 198
- Курилова Д.О. 201
- Курсанбек  
уулу Куштарбек  
150
- Курушина И.А. 365
- Кучеров Н.А. 80
- Кучмий А.Д. 194
- Кушваха Х.Н. 391
- Кущёв Н.П. 357
- Л**
- Лавриненко С.А. 153
- Лазарев А.Ю. 181
- Лаптинская М.М. 47, 261
- Ле Ван Ха 32
- Лебедев М.В. 262
- Левитина А.М. 358
- Левкина А.А. 359
- Лельков К.С. 150
- Леонтьев М.К. 86, 110
- Лепешинский И.А. 80
- Лепешкин А.Р. 90, 102
- Лесик Е.С. 360
- Лесневский Л.Н. 65, 302

Лийн Е.А. 125, 262, 273  
Липгарт А.В. 337  
Лисейкин Г.В. 263  
Литвинович Н.В. 222  
Лихарев Ю.В. 195  
Лихошерст В.В. 140, 141  
Лодянова В.И. 91  
Лозован А.А. 298  
Ломакина А.Д. 366  
Луковский М.А. 196  
Лунев В.С. 361  
Луньков В.И. 151  
Лухманова Д.А. 349  
Лысенко Г.П. 92  
Лысенко С.В. 361  
Любезный Б.В. 216  
Ляпина В.С. 198  
Ляпина С.Ю. 362  
Ляховецкий М.А. 87, 302

**М**

Магомедов М.А. 142, 152  
Мазлумян Г.С. 236  
Мазур В.В. 311  
Майоров Д.И. 314  
Майоров Н.Н. 29  
Майорова В.И. 18  
Макаренкова Н.А. 152  
Макаров А.Д. 42  
Макаров Д.А. 363  
Макарова Е.Д. 312  
Макашов С.Ю. 99  
Макеев П.В. 33, 34, 59  
Максименко Е.И. 287  
Максимов А.Н. 153  
Максимов Б.А. 264  
Максимов Н.А. 154  
Максимова В.Ю. 155  
Максимова И.Д. 27  
Малолетнева П.М. 241  
Мамаева Д.Г. 282  
Мамонтов В.Д. 156  
Манин А.Н. 115  
Маркарян А.О. 265  
Маркелов Е.Е. 169  
Маркина А.Д. 364  
Мартиросов М.И. 289  
Маргьинов И.В. 95  
Маргюшов С.Н. 265  
Марчуков Е.Ю. 383  
Марюшина З.Л. 213

Матвеев А.А. 165  
Матвеев А.М. 196  
Матвеев В.А. 21, 292, 339  
Матковский Н.О. 242  
Махин И.Д. 224  
Махотин И.Д. 297  
Мачинский Г.С. 196  
Мезина Н.А. 349, 361, 365, 392  
Мелик-Асланова Н.О. 366  
Мельников А.В. 76, 217  
Мелоков С.А. 156  
Меснянкин С.Ю. 92  
Мессинева Е.М. 367  
Мещеряков Н.Н. 395  
Мигдалова С.Д. 93  
Миловидов А.В. 35  
Милто Е.В. 217  
Минасян В.Б. 157  
Минин А.К. 94  
Мирзоян А.А. 98  
Мирзоян И.Н. 95  
Мироненко А.В. 158  
Митин Ф.В. 159  
Митрофанов А.Л. 298  
Митрофанов О.В. 36, 37  
Митрофанова А.Р. 299, 317  
Михайлов А.А. 368  
Михайлов В.В. 177  
Михайлова Д.Ю. 218  
Мишаков С.Ю. 300  
Мишунин А.С. 365  
Мкртчян М.К. 96  
Моисеев Д.В. 24  
Мокряков А.В. 187  
Молин К.Е. 38  
Мольков О.Р. 39  
Монахов М.Д. 197  
Монахова В.П. 64, 78  
Моржухина А.В. 213  
Морозов А.А. 233  
Морозов А.В. 300  
Морозова А.М. 119  
Москвичева Н.В. 369, 370  
Мохаммад Хуссом 301  
Муравьев Н.Д. 370  
Мякочин А.С. 103, 108

**Н**

Набиева Д.Г. 370  
Надирадзе А.Б. 70, 204, 223, 252  
Назаренко И.П. 92, 104  
Назаров А.В. 159, 174  
Назаров А.Д. 371  
Наумов А.В. 266  
Наумов А.Н. 160  
Наурузалинов А.С. 291  
Наштыков Д.Е. 161  
Нгуен Ван Нгок 267  
Неверова Н.В. 372  
Негодяев С.С. 278  
Нейперт Т.А. 259, 268  
Некрасов В.В. 217  
Нелин И.В. 196  
Нестеренко А.К. 149  
Нестеренко В.Г. 89, 96  
Нетелев А.В. 210, 212  
Нетребская О.Н. 373  
Нечипорук С.Ю. 269  
Нечушкина В.С. 280  
Никитин А.А. 162  
Никитина Е.В. 283  
Николаев И.А. 65, 302  
Николаев П.Л. 156, 181  
Николенко Т.Ю. 374  
Никонов Ю.Ю. 162  
Никулина Е.Н. 375  
Новиков А.А. 163  
Новиков А.Ю. 130  
Новиков И.С. 208  
Носырев А.Н. 269  
Нягин П.В. 97

**О**

Овакимян Д.Н. 12, 19  
Овсянников М.О. 10  
Огурцов М.С. 36  
Ожигбесова Д.Д. 219, 256  
Олесова Н.И. 98  
Олешко В.С. 40  
Олифинов Л.К. 312  
Олишевский Д.А. 65  
Орехов А.А. 296  
Орешина М.Н. 164  
Орлов И.Д. 99  
Орлов М.Ю. 19  
Осипенков А.А. 376  
Остриков Н.Н. 99  
Охотников Д.А. 198

- Охрименко Н.И. 167  
Очередыко С.В. 40
- П**
- Павлов А.В. 220  
Палкин П.А. 303  
Палтиевич А.Р. 304  
Пальченко Н.В. 43  
Паневин А.Ю. 41  
Панин Ю.В. 229, 247  
Панкратова Т.А. 305  
Пантюк Т.А. 165  
Парафесь С.Г. 31  
Пашин А.В. 131  
Пашков И.Н. 291  
Пейсахович О.Д. 76  
Пелих Е.А. 377  
Пельтихина Т.Г. 378  
Перчёнок А.В. 104  
Петров И.А. 314  
Петров К.С. 270  
Петрова Е.Н. 100  
Петрухин В.А. 165, 241  
Пегухов Ю.В. 87  
Пименова О.В. 166  
Пинегин А.А. 167  
Писарев В.Д. 42  
Писарев И.А. 25  
Платонов И.М. 106  
Плохих А.П. 190  
Погина Н.Н. 379  
Погорелов М.Г. 140, 141  
Погорецкая П.А. 270  
Подберезный А.В. 198  
Подгорная В.М. 271  
Подгузова М.А. 168  
Подшибнев В.А. 242  
Подымова О.А. 69  
Пождаев А.А. 101  
Пожога О.З. 307  
Покровский С.В. 176  
Полетаев А.О. 58  
Половинкина М.Е. 380  
Половников Д.Е. 221  
Поперечный С.С. 90, 102  
Попов Д.В. 102  
Попов Ю.И. 35  
Попова Ю.А. 304  
Преображенский Е.В. 169  
Прибытков К.И. 154  
Прилипко Е.А. 305
- Проданик В.А. 43  
Прокопенко Д.А. 287  
Пронина В.А. 380  
Пронина П.Ф. 222  
Пронкин А.А. 207  
Пронькина И.В. 92  
Просвирина Н.В. 381  
Прошкин В.Ю. 222  
Прядкин С.П. 169  
Пугачёв Ю.Н. 17  
Пурыскина А.В. 366  
Пушкарева М.Б. 322  
Пшеничный В.В. 100  
Пыхтин А.В. 276
- Р**
- Рабинский Л.Н. 289  
Равикович Ю.А. 81, 111  
Рагазин А.А. 285  
Радченко П.С. 25  
Рахманин А.Д. 170  
Рахматуллин Р.Р. 223  
Рачков А.А. 272  
Ребров С.Г. 67  
Редькин А.В. 43  
Ремизов А.Е. 314  
Решетников В.А. 80  
Роголев Р.С. 224  
Родионов Н.В. 339  
Родионова А.С. 306  
Родников А.В. 253, 273  
Рожков В.А. 44  
Романов Е.К. 120  
Романова-Большакова И.К. 160  
Руднев И.А. 176  
Рукавицин С.Н. 227  
Рулев Д.Н. 225  
Румянцев К. 307  
Русанова Н.А. 211  
Русских С.В. 13, 48, 226  
Рыбаков Е.М. 298  
Рыбакова Л.В. 382  
Рыжова Е.С. 308, 309  
Рыжова Т.М. 45  
Рыманова А.Н. 46  
Рябиков А.Ю. 171  
Рябов А.А. 307, 313  
Ряховский А.П. 314
- С**
- Савелова К.Э. 47, 261
- Савушкина С.В. 83, 302  
Садовская М.Л. 338  
Сазонова Т.В. 172  
Сайдалиева Д.Р. 273  
Салиенко А.Н. 310  
Салиенко Н.В. 310, 315  
Салимгареева В.Р. 217  
Сальников А.Ф. 100  
Сальников Н.А. 227  
Самойличенко М.А. 199  
Сарайкина А.А. 22  
Сарбучев С.Н. 65  
Сартори А.В. 383  
Сафин К.З. 263  
Сафронова К.П. 228, 231  
Сводин П.А. 103  
Себелев А.А. 99  
Севрук С.Д. 104  
Селин А.И. 47  
Селюгин С.В. 310  
Семенов Г.Е. 127, 188  
Семина А.П. 384  
Семина Е.И. 385  
Сеньшина Т.А. 229  
Сергеева Н.И. 10  
Серебрянский С.А. 6, 51, 53  
Серков В.В. 105  
Силантьева Е.А. 386  
Силуянов А.А. 144  
Силуянова М.В. 108  
Симбирев Н.А. 229  
Симкина А.В. 275  
Синицын А.Ю. 311  
Сиренко К.В. 352  
Сиротин И.С. 297  
Ситников С.А. 75  
Скляр Е.Ф. 220  
Следков М.Ю. 173  
Смирнов А.С. 174  
Смирнов В.Г. 215, 353, 356  
Смирнов В.Ю. 148  
Смирнов К.К. 159, 174  
Смирнов М.А. 175  
Смирнов П.А. 313  
Смирнова Е.А. 387  
Снегирёв А.О. 282  
Соколов М.В. 140  
Соловьёв В.М. 336

- Соловьева А.В. 383  
Соловьева Н.В. 388  
Солодилов И.С. 48  
Сорокин А.Е. 205  
Сорокин О.О. 389  
Сорокин С.А. 49  
Спирин А.И. 225, 230  
Стариковский А.С. 176  
Старинова О.Л. 229  
Степаненко А.Ю. 389  
Степаненко В.А. 389  
Степанов А.Е. 266  
Степанов В.В. 312, 368  
Степанов К.П. 312  
Степаньянц Г.А. 152  
Степашкин А.А. 301, 312  
Степушин А.С. 313  
Страхов Р.Д. 176  
Строгонова Л.Б. 203, 231  
Стручалин Д.В. 252  
Судаков В.А. 180  
Судилина Е.В. 390  
Сулейманова Ю.Г. 314  
Сумерин В.В. 181  
Суржиков Г.Ф. 262  
Сурикова Ю.В. 231  
Сурков В.А. 255  
Суркова Е.В. 50  
Суханов А.А. 229  
Сухов Е.А. 254  
Сухомлинов Г.Л. 177  
Сысоев С.А. 178  
Сычѳв А.В. 105, 252
- Т**  
Талалаева П.И. 30, 106, 294  
Талипов В.А. 107  
Тараненко А.В. 391  
Тарасенко А.Н. 108  
Тарасов Д.Ю. 177  
Тарасова В.Н. 397  
Тарасова Н.В. 392  
Тевс М.Д. 299  
Тектов М.В. 179  
Тепцов В.А. 137  
Тимофеев Н.С. 65  
Тимофеев П.А. 70  
Тимушев С.Ф. 83  
Титов Д.М. 204  
Титов Е.И. 51
- Титов Ю.П. 180  
Тихонов А.И. 334, 345, 380, 385, 389, 393  
Тихонов В.А. 320, 394  
Тихонов Г.В. 395  
Тихонова С.В. 395  
Тишков В.В. 242  
Ткачук М.О. 222  
Тлевцежев В.В. 108  
Токачев Д.А. 87  
Торлупа А.А. 145  
Торопылина Е.Ю. 36  
Тошаков А.М. 84  
Трегубенков С.Ю. 370  
Третьякова М.Ф. 262  
Трофимова Е.И. 181  
Трубченинова А.А. 396  
Туев А.А. 123  
Туркин И.К. 47  
Тху Аунг Хан 52  
Тюльков К.В. 67, 109  
Тюменцев Ю.В. 23, 54  
Тяглик М.С. 11  
Тяпкин П.С. 200, 201
- У**  
Ульянкин А.И. 228  
Уперчук Р.А. 209, 232  
Усов Д.В. 99  
Усовик И.В. 233  
Усс Е.С. 200  
Устинов А.Э. 266  
Ухов П.А. 275  
Ушаков И.О. 53
- Ф**  
Фадеев А.А. 316  
Факеев Д.М. 115  
Фармаковская А.А. 104  
Федорцов Р.С. 314  
Федотова М.А. 397  
Федулов В.И. 398  
Фивейский В.Ю. 399  
Филатов Д.С. 269  
Филатова А.Г. 380  
Филиппов И.М. 209  
Фирсов И.С. 181  
Фисенко Д.И. 13  
Фланден В.С. 74  
Фокин Д.Б. 97  
Фомичев А.В. 156  
Фридман В.Д. 400  
Фролов В.А. 32
- Фролов В.П. 401  
Фролова В.В. 362  
Фукин И.И. 269
- Х**  
Халецкий Ю.Д. 98  
Хамраев А.А. 174  
Хапков О.М. 316  
Харитоненков А.И. 120, 182  
Харламов А.Н. 201  
Хартов С.А. 78  
Хмель Д.С. 216  
Хоа Ван Донг 276  
Холостова О.В. 277  
Хомутская О.В. 125, 136, 183  
Хопин П.Н. 300  
Хорев Т.С. 184  
Хорошко А.Л. 185  
Хоткина Е.С. 382  
Хрипунов И.В. 278  
Ху Циньзэй 90  
Хуссом Мохаммад 312
- Ц**  
Цхай Р.А. 54  
Цырков Г.А. 142
- Ч**  
Чайка Н.К. 402, 403  
Чалова О.А. 390  
Чеботарев Ю.С. 243, 244  
Челебин О.Г. 65  
Чемоданов В.Б. 26  
Червяков В.И. 404  
Черникова Е.Б. 185  
Черникова О.А. 165  
Черницын А.Е. 341  
Черноморский А.И. 150  
Черных А.С. 234  
Чернышов М.В. 47, 261  
Чжао Инин 54  
Чигирева Ю.В. 329  
Чобан В.М. 169  
Чуклинов С.В. 383  
Чуксина О.В. 405  
Чулков М.В. 55  
Чэнь Болунь 110  
Чэнь Лэй 56
- Ш**  
Шавелкин Д.С. 296  
Шагин П.Н. 186  
Шакин А.Д. 369

- Шангин И.А. 218  
 Шапошников Е.С. 334  
 Шапошников К.В. 110  
 Шаталин А.А. 315  
 Шаталова А.А. 347  
 Швед Ю.В. 57  
 Шевченко В.В. 235  
 Шевченко М.И. 135,  
 167, 176  
 Шевяков А.О. 111  
 Шейпак О.А. 390  
 Шелагурова М.С. 172  
 Шеметовец А.А. 96  
 Шенгальс А.А. 99  
 Шеремет А.А. 235  
 Шилов М.С. 58  
 Ширко А.А. 311  
 Ширшов А.Д. 159
- Ширяев П.И. 187  
 Шкотов Д.Д. 403  
 Шомов А.И. 33, 59  
 Шоронов С.В. 112  
 Шохов П.А. 292  
 Штатнова В.С. 316  
 Шумилин И.А. 190  
 Шураков М.А. 299,  
 317
- Щ**  
 Щербачков А.И. 59  
 Щур П.А. 318
- Э**  
 Эзрохи Ю.А. 97
- Ю**  
 Юркова П.В. 369  
 Юров А.М. 204  
 Юров И.Б. 203
- Юрьев А.И. 241  
 Юсипов Б.Х. 96  
 Юшук Р.В. 236
- Я**  
 Яковлева А.А. 278  
 Яковченко Н.Р. 190  
 Якухин С.Д. 192  
 Ярулин Э.Р. 188  
 Ясенцев Д.А. 194, 196  
 Яценко М.Ю. 237
- М**  
 Mohamad Y.B. 114
- S**  
 Shao Tian 308
- X**  
 Xu Wu 308
- Z**  
 Zhang Sihao 308

**22-я Международная конференция  
«Авиация и космонавтика»**

Тезисы



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 11.12.2023.  
Объем 4,3 Мбайт. Электрон. текстовые данные. Заказ 1162.

Организатор



Партнёры



Ростех



ВЕРТОЛЕТЫ  
РОССИИ

Контакты

125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

[aviacosmos@mai.ru](mailto:aviacosmos@mai.ru)

[aik.mai.ru](http://aik.mai.ru)