

**СБОРНИК ТРУДОВ  
XVIII ВСЕРОССИЙСКОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ  
НАУЧНОЙ ШКОЛЫ**

**«АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ ДЕКАДА»  
2025**

Москва, 2025

УДК 629.78  
 ББК 22.317я43  
 С23

С23 **Сборник трудов XVIII Всероссийской студенческой научной школы «Аэрокосмическая декада».** – Москва: Издательство «Перо», 2025. – Мб. [Электронное издание].

ISBN 978-5-00270-543-6

Аэрокосмическая декада проводится Московским авиационным институтом ежегодно с 2008 года. В 2025 году Научная школа прошла на основной территории Московского авиационного института в 18 раз.

Аэрокосмическая отрасль — это всегда взгляд в будущее, и именно студенты и молодые ученые являются его главными архитекторами. Научно-техническая конференция в рамках «Аэрокосмической декады 2025» служит уникальной стартовой площадкой, где смелые идеи обретают форму и звучание.

Этот сборник трудов объединяет лучшие исследовательские работы, представленные в рамках конференции. Для молодых специалистов участие в таком мероприятии — не просто академическая практика, а важнейший этап профессионального становления. Здесь формируется культура публичного представления сложных проектов, оттачивается искусство научной дискуссии и приобретается бесценный опыт получения экспертной оценки от ведущих специалистов отрасли.

География конференции в 2025 году вновь подтвердила ее статус как общероссийской площадки для диалога. Участие студентов и аспирантов из флагманов инженерного образования — Московского авиационного института, МТУСИ, Университета ИТМО, Тульского государственного университета — создает мощную синергию знаний, стимулирует обмен передовыми методиками и закладывает основы будущих межвузовских коллaborаций.

Неуклонный рост как теоретической глубины, так и практической значимости представленных работ — ключевая характеристика конференции. Он отражает общую динамику развития российской авиации и космонавтики, демонстрирует высокую мотивацию нового поколения исследователей и их готовность решать актуальные технологические вызовы.

Желаем всем авторам, чьи труды вошли в этот сборник, новых открытий, а читателям — вдохновения и плодотворных идей для собственных исследований. Вместе мы продолжаем прокладывать курс к новым горизонтам.

УДК 629.78  
 ББК 22.317я43

ISBN 978-5-00270-543-6

© Авторы, 2025

## Оглавление

<i>Оценка способов противодействия с явлениями обледенения несущих поверхностей ЛА</i>	
<i>Абраменков Сергей Олегович, Саплин-Силановицкий Иван Юрьевич</i> .....	<i>6</i>
<i>Оценка научно-технического потенциала, как инструмент определения эффективности</i>	
<i>предприятий Алёшин Артём Антонович</i> .....	<i>9</i>
<i>Лабораторный макет фазированной антенной решётки на базе модулей software defined</i>	
<i>radio Балагур Евгений Русланович</i> .....	<i>11</i>
<i>Роль частных компаний в трансформации космической отрасли Блудов Артём Андреевич</i>	<i>13</i>
<i>Обзор современного состояния отрасли радиозондирования земной атмосферы Вуколов</i>	
<i>Андрей Алексеевич, Киселев Артём Евгеньевич</i> .....	<i>15</i>
<i>Развитие аэрокосмической отрасли: история, проблемы, перспективы Городецкий Артемий</i>	
<i>Игоревич</i> .....	<i>18</i>
<i>Имитационное моделирование логики переключения передач АКПП на основе цветных сетей</i>	
<i>Петри Дыбалева Александра Петровна, Агамиров Владимир Левонович</i> .....	<i>19</i>
<i>Разработка модельно-методического аппарата формирования парка региональной авиации</i>	
<i>Егришин Михаил Алексеевич, Мирский Борис Сергеевич</i> .....	<i>22</i>
<i>Формирование кадрового резерва авиационной отрасли через развитие культуры</i>	
<i>интеллектуальной собственности у школьников и студентов Екимовская Анна Алексеевна</i>	
.....	<i>26</i>
<i>Треугольная вращающаяся система малых космических аппаратов для манёвра на орбитах</i>	
<i>без химического топлива Екимовская Анна Алексеевна</i> .....	<i>29</i>
<i>Автоматизация оформления документов по ГОСТ 7.32-2017 с помощью шаблона modern-</i>	
<i>g7-32 Елисеев Павел Александрович, Лисняк Александр Олегович</i> .....	<i>32</i>
<i>Технология SDR в задачах прототипирования цифровых устройств Жало Андрей Евгеньевич</i>	
.....	<i>33</i>
<i>Оценка эффективности повышения усталостной прочности алюминиевого сплава АК4-1</i>	
<i>методом лазерной ударной обработки Забенько Евгений Владимирович, Токачев Данила</i>	
<i>Александрович, Шкарина Ксения Петровна</i> .....	<i>38</i>
<i>Спираль Фибоначчи как альтернатива традиционным сеткам размещения излучателей</i>	
<i>фазированных антенных решёток Зайцев Кирилл Сергеевич</i> .....	<i>39</i>
<i>Десктопный ИИ-ассистент для диагностики и управления персональным компьютером</i>	
<i>Зайцева Арина Евгеньевна</i> .....	<i>43</i>
<i>Применение БПЛА в решении задач противопожарной защиты Земсков Петр Андреевич</i> ..	<i>46</i>
<i>Разработка автоматизированной обучающей системы для изучения матричных методов</i>	
<i>принятия решений Кадыков Иван Дмитриевич</i> .....	<i>48</i>
<i>Высотные привязные аэростатические платформы для мониторинга Северного морского</i>	
<i>пути Каучакова Марина Андреевна</i> .....	<i>50</i>

<i>Разработка модульной архитектуры программного обеспечения для управления роботом-манипулятором с интеграцией моделей машинного обучения в традиционные контуры управления</i> Кашилев Матвей Викторович .....	53
<i>Состояние и перспективы развития бортовой антенной системы КОСПАС-САРСАТ</i> Киселев Артём Евгеньевич, Вуколов Андрей Алексеевич .....	56
<i>Разработка бортовой системы мониторинга деформаций планера на основе волоконно-оптических брэгговских решеток</i> Коробкова Анна Вадимовна.....	60
<i>Методологическая основа прогнозирования геометрических деформаций произвольных 3D-форм на основе сферической модели анизотропии при СЛП-производстве</i> Коробов Константин Сергеевич, Бобылёв Артём Алексеевич, Хасболатов Азамат Камильевич, Брыкин Венамин Андреевич .....	64
<i>Разработка методики прямой металлизации печатных плат</i> Круглянкин Владислав Станиславович, Третьякова Мария Федоровна .....	65
<i>Описание функционала, особенностей работы и реализации Advanced Memory Test</i> Кучук Егор Андреевич .....	67
<i>Влияние временной задержки на энергетические характеристики двухимпульсной установки</i> Кыржэу Денис Анатолиевич .....	69
<i>Расчетно-экспериментальный анализ конструкции корпуса порохового аккумулятора давления поляризационно-оптическим методом</i> Лазарева Арина Александровна, Сабитов Роман Альбертович .....	72
<i>Применение мобильной связи для дистанционного управления роботизированными модулями</i> Ларькин Артемий Владимирович, Самойлова Ксения Ивановна, Денисов Артем Александрович .....	73
<i>Разработка программного комплекса моделирования поражения самолёта средствами пво в интересах оценки его боевой живучести</i> Лысаковский Иван Дмитриевич, Рачонок Егор Владимирович .....	75
<i>Актуальность накопителей энергии типа суперконденсаторы в разработке авиационной и космической техники</i> Манченко Глеб Витальевич, Войтухов Макар Романович .....	79
<i>Водородные БПЛА – обзор технологии и перспективы</i> Мартынов Владимир Константинович, Земсков Петр Андреевич.....	82
<i>Обобщённые критерии эффективности и прогноз развития двигательных установок авиационной и космической техники</i> Ошарин Валентин Павлович, Одинцов Андрей Вячеславович.....	84
<i>Модельно-методический аппарат формирования облика легкого самолета-штурмовика с учетом возможностей базирования</i> Перовский Денис Дмитриевич, Скрипниченко Юрий Станиславович .....	87
<i>Система управления б-осевым роботом-манипулятором по протоколу CANopen</i> Петров Андрей Валерьевич .....	91
<i>Взаимосвязь дожигания топлива и структуры течения в донной области тела</i> Поляков Лев Викторович.....	93

<i>Роль терминологии в понимании ключевых тенденций и проблем развития космической отрасли Попова Светлана Евгеньевна .....</i>	96
<i>«Интегрированный подход к спасению на воде: разработка и создание модульного беспилотника – спасательного круга» Радченко Илья Анатольевич .....</i>	99
<i>Разработка модельно-методического аппарата формирования рационального облика беспилотной авиационной системы ретрансляции на основе воздухоплавательных комплексов Мыскин Дмитрий Николаевич, Савинков Никита Тимофеевич .....</i>	101
<i>Генерация данных сетевых атак с использованием генеративных состязательных нейронных сетей для повышения эффективности систем обнаружения Савосина Арина Александровна .....</i>	106
<i>Программный комплекс оценки эффективности распознавания типа воздушной цели разведывательным авиационным комплексом в операциях на морских ТВД Смоленков Александр Романович, Перовская Анна Романовна .....</i>	108
<i>Экономичный режим работы трёхсоставного шарнирно-рычажного манипулятора Солдатенко Владислава Павловна .....</i>	113
<i>Обучение переводу аббревиатур в аэрокосмической отрасли для повышения качества работы с технической документацией Соловьева Наталья Вадимовна .....</i>	116
<i>Разработка метода повышения надежности высокоточных печатных плат, используемых в аэрокосмической технике Степанов Алексей Сергеевич, Прокофьев Сергей Алексеевич, Лавриненко Сергей Александрович .....</i>	118
<i>Концептуальное проектирование реактивного ранца для осуществления внекорабельной деятельности космонавта Суворкин Владислав Андреевич .....</i>	121
<i>Разработка модульной аппаратно-программной платформы с открытой документацией для разработки автономных мобильных роботов Султанов Арман Русланович, Черновский Никита Владимирович, Гапоненко Максим Вадимович .....</i>	123
<i>Исследование влияния остаточных напряжений после лазерной ударной обработки на коробление деталей, изготовленных из титанового сплава ВТ6 Токачев Данила Александрович, Забенько Евгений Владимирович, Шкарина Ксения Петровна .....</i>	125
<i>Исследование изменения формы деталей из титанового сплава ВТ6, вызванной остаточными напряжениями, возникающими после лазерной ударной обработки Токачев Данила Александрович, Забенько Евгений Владимирович, Шкарина Ксения Петровна .....</i>	127
<i>Программный комплекс оценки эффективности обнаружения наземных объектов авиационным разведывательным комплексом при воздействии активных шумовых помех Трошин Кирилл Сергеевич, Перовская Анна Романовна .....</i>	129
<i>Обтекатель бортовой антенной системы Цыганюк Алексей Олегович .....</i>	134
<i>Исследование влияния температуры на многокомпонентные аэродинамические поверхности Черкасов Матвей Сергеевич, Шалынков Сергей Алексеевич .....</i>	136
<i>Усилитель звука для системы акустического оповещения беспилотных воздушных судов Юров Тимофей Данилович, Земсков Петр Андреевич .....</i>	139

**Оценка способов противодействия с явлениями обледенения несущих поверхностей ЛА**  
**Абраменков Сергей Олегович, Саплин-Силановицкий Иван Юрьевич**  
**Научный руководитель – Ванцов С.В.**

МАИ, Москва

Ключевые слова: противообледенительные системы, гидрофобность, уравнение Дюпре-Юнга, угол смачивания, центробежная сила.

Авиаперелеты сейчас считаются одним из самых безопасных видов транспорта, но остаются проблемы безопасности. Одной из центральных является обледенение самолетов. Решение на земле включает ПОС и ЭМИПОС, предотвращающие ледообразование, однако из-за высоких затрат на топливо и обслуживание возникла необходимость разработки более эффективных решений: гидрофобных и сверхгидрофобных покрытий.

Целью данного исследования разработка методики оценки эффективности применения противообледенительных систем и покрытий и оптимизации их использования в предотвращении ледообразования на несущих поверхностях ЛА.

Для борьбы с обледенением используются различные противообледенительные системы (ПОС). Они используются не только против образования льда на поверхностях ЛА, но и внутри двигателей. ПОС можно разделить на несколько главных видов: тепловые, электрические и гибридные.

Первые системы предотвращают обледенение моторов, используя горячий воздух. Однако это не всегда эффективно из-за сложностей с достаточным забором воздуха и подачей тепла в двигатели с высокой двухконтурностью.

Электрические ПОС предназначены для удаления льда и инея с самолета. Они размещены под обшивкой и используют электромеханические импульсы или нагревательные элементы для очистки поверхности.

Гибридные противообледенительные системы сочетают электротермические и электроимпульсные ПОС. Обычно их размещают на передней кромке крыла. Эти системы уменьшают энергопотребление на удаление льда, так как нагревательные элементы работают только в перерывах между импульсами. Схема работы ЭМИПОС представлена на рисунке Рис. 1. [2]



Рис. 1 – Схема работы гибридной ПОС

Долговременное использование систем противообледенения в летательных аппаратах выявило повышенную коррозию поверхностей. [1] Для снижения затрат на обслуживание и поддержания летной годности используется PTFE-покрытие. Оно предотвращает ледообразование и повышает угол смачивания на конструкциях самолета. Применение технологии основано на полимеризации и плазменном травлении, включающем углеродные нанотрубки (Рис. 2), полученные путем нанесения каталитического слоя (Fe, Ni или Co), подачей и распадом углеводородного газа (зачастую этилена). Они удерживают воздух при помощи полученной фторполимерной плёнки, имеющей низкую поверхностную энергию, для исключения возможности попадание воды в пространство между нанотрубками. [4]

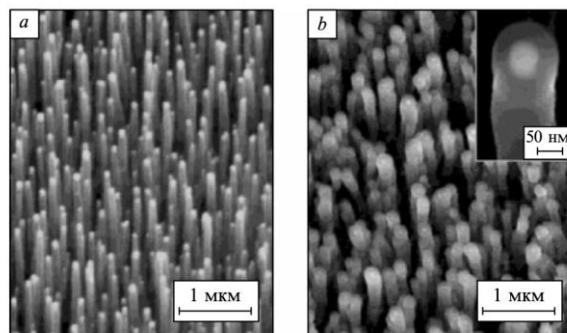


Рис. 2 – Изображение поверхности, покрытой углеродными нанотрубками, полученное при помощи электронного микроскопа. *a* – трубки до обработки, *b* – после обработки политетрафторэтиленом.

Свойство водоотталкивания в таком соединении достигается путём уменьшения поверхностной энергии между телом и воздухом, что увеличивает краевой угол. Для определения краевого угла используется уравнение Дюпре-Юнга (формула (1), в которой рассматриваются поверхностные энергии взаимодействия тела с воздухом  $\sigma_{sv}$  и тела с жидкостью  $\sigma_{sl}$ , а также поверхностное натяжение жидкости  $\sigma_{lv}$ ).

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{sv} - \sigma_{sl}}{\sigma_{lv}} \quad (1)$$

Свойства материала поверхности в сочетании с нанесённым гидрофобным составом создают угол смачивания  $>106^\circ$  [4]. Это означает, что капля воды практически не взаимодействует с твёрдым телом: площадь её контакта снижается, и она принимает более округлую форму. В результате адгезия воды к поверхности уменьшается, что способствует её лёгкому стеканию и снижает вероятность налипания влаги или льда.

Тем не менее, исследования показали, что гидрофобные покрытия теряют свою эффективность при низких или слишком высоких скоростях налипания, вследствие чего при рулении, взлете и посадке самолет подвержен налипанию льда.

Учитывая недостаточную изученность этой технологии и сложность её сертификации, – она должна соответствовать всем нормам NASA/FAA, – предлагаем использовать альтернативный способ пассивной защиты, основанной на резком изменении оборотов ротора низкого давления. Удаление льда с роторных частей, таких как обтекатель и рабочие лопатки, осуществляется за счёт резкого увеличения центробежных сил. Этот метод основывается на зависимости центробежных сил от частоты вращения ротора. Увеличение частоты оборотов на 5% приводит к увеличению центробежных сил примерно на 10%, так как они пропорциональны квадрату частоты вращения ротора. Ниже представлена формула расчета суммы центробежных сил, действующих на тело, находящееся на частях ротора (формула (2)).

$$F_c = \sum_{i=1}^{N_{e,vol}} m_i \Omega^2 r_i \quad (2)$$

Где  $F_c$  — суммарная центробежная сила на кусок льда,  $m_i$  — масса элемента льда,  $\Omega$  — угловая скорость вращения,  $r_i$  — радиус вращения.

Если резкое увеличение оборотов не удаляет лед, можно применить резкое торможение до исходной частоты оборотов. Метод сохранит целостность двигателя, а также кратно уменьшит потребность в дополнительных механизмах противообледенения.

В ходе дальнейшей работы предполагается исследование способов противодействия появлению льда на поверхности самолета, работы ПОС и составы гидрофобных покрытий, а также разработки методики оптимизации, упрощающей эксплуатацию противообледенительных систем.

Список использованных источников:

1. Ferrari M., Cirisano F. Superhydrophobic coating solutions for deicing control in aircraft // Applied Sciences. — 2023. — Vol. 13, Issue 21. — P. 11684. — DOI: 10.3390/app132111684.
2. Миляев К. Е., Семенов С. В., Балакирев А. А. Обзор способов борьбы с обледенением в авиационных двигателях // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. — 2019. — № 59. — С. 5–20. — DOI: 10.15593/2224-9982/2019.59.01.

3. Grishaev V. G., Borodulin I. S., Usachev I. A., Amirfazli A., Drachev V. P., Rudenko N. I., Gattarov R. K., Bakulin I. K., Makarov M. V., Akhatov I. S. Anti-icing fluids interaction with surfaces: Ice protection and wettability change // International Communications in Heat and Mass Transfer. — 2021. — Vol. 129. — Art. 105698. — DOI: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2021.105698.

4. Бойнович Л. Б., Аметов И. С. Смачиваемость и краевые углы: основы, модели, применение // Труды Института физической химии РАН. — 2008. — Вып. 77. — С. 619–636.

**Оценка научно-технического потенциала, как инструмент определения эффективности предприятий**

**Алёшин Артём Антонович**

Научный руководитель - Ермолаева Е. Н.

МАИ, Москва

Ключевые слова: научно-технический потенциал, НТП, эффективность предприятий, комплексный подход, анализ предприятий, характеристики предприятия

Одним из перспективных направлений современной экономической теории выступает исследование и оценка научно-технического потенциала (далее НТП). Рамках НТП поддаются анализу, разнообразные характеристики: материальные, технологические, информационные, финансовые, трудовые ресурсы, а также прочие показатели, включая инновационные компоненты и правовые условия функционирования экономики.

В общей практике эффективность предприятий сводится к оценке рентабельности хозяйственной деятельности, расчёту общих показателей рентабельности использования ресурсов, проведению факторному анализу общих показателей рентабельности и расчёту частных показателей эффективности деятельности и использования ресурсов.

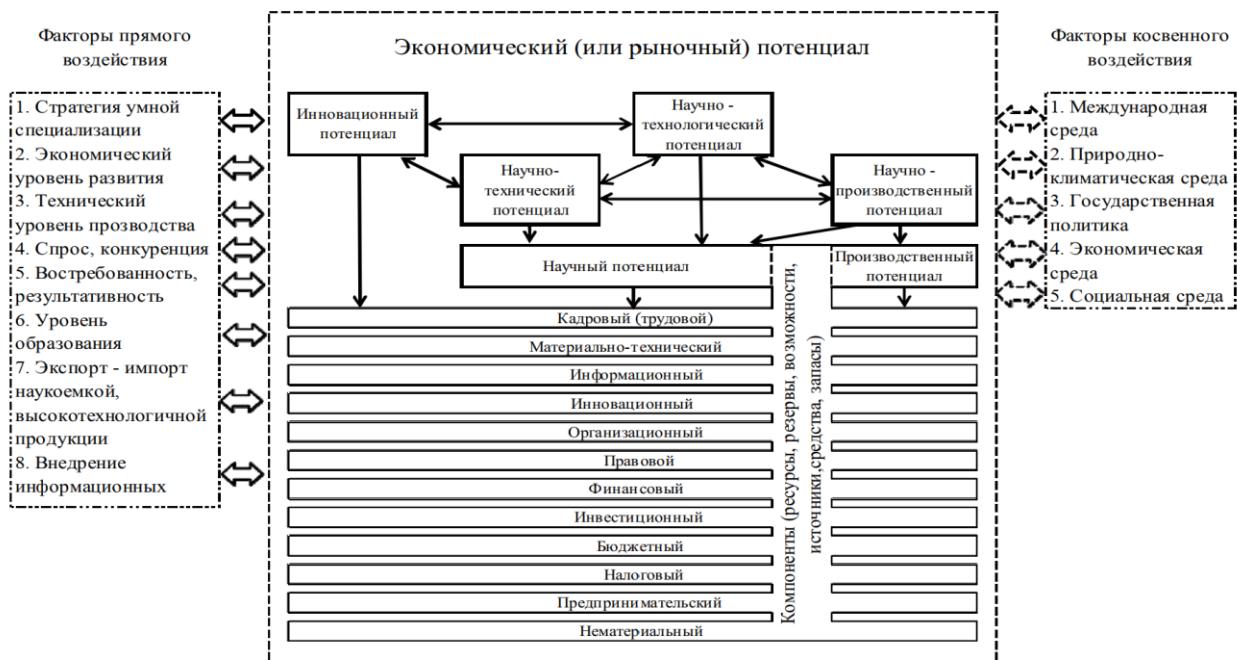


Рис. 1 Структурная схема идеи анализа НТП

В рамках же оценки научно-технического потенциала оценивается полный комплекс показателей, который характеризует деятельность предприятий. При изучении подходов к определению НТП, можно отметить около пяти основных точек зрения, представленных экономистами, такими как Добров Г.М., Кривоносов Ю.И., Каныгин Ю.М., Громека В.И. и Дуженков В.И. Эти концепции взаимодополняют друг друга, выделяя различные стороны потенциала и подчеркивая важность конкретных элементов для оценки эффективности развития экономики. Сформировавшийся информационно-методический материал середины XX начала XXI веков может послужить хорошей базой для составления процесса и инструментов анализа НТП. Все идеи, высказанные учёными-исследователями научно-технического потенциала, можно представить в качестве схемы (рисунок 1).

Исходя из данных рисунка 1 можно увидеть, что анализ НТП – комплексный процесс оценки активов, фондов и ресурсов, на основании которого можно сделать вывод о жизнеспособности, эффективности и возможностях предприятия.

#### Список использованных источников:

1. Худяков В. В., Мерзлов И. Ю. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ: АНАЛИЗ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ // Вестник Томского государственного университета. Экономика. - 2020. - №52. - С. 75-87.

2. Определяем экономическую эффективность предприятия за год // Профессиональное издательство

URL: [https://www.profiz.ru/peo/12\\_2020/effektivnost\\_kompanii/](https://www.profiz.ru/peo/12_2020/effektivnost_kompanii/) (дата обращения: 24.11.2025).

**Лабораторный макет фазированной антенной решётки на базе модулей  
software defined radio**  
**Балагур Евгений Русланович**  
 Научный руководитель – Шмачилин П. А.  
 МАИ, Москва

Ключевые слова: программно-определенное радио (SDR), фазированная антенная решетка (ФАР), цифровая антенная решетка (ЦАР), HackRF One, синхронизация.

Представленная работа направлена на модернизацию учебного лабораторного макета фазированной антенной решетки (ФАР) посредством замены аналоговой системы управления на цифровую платформу программно-определенного радио (SDR). На основе пяти синхронизированных модулей HackRF One разработан комплекс для обработки радиосигналов.

Современные достижения в области цифровой обработки сигналов позволили разработать технологию программно-определенного радио (Software Defined Radio, SDR). Данная технология представляет собой программно-аппаратный комплекс, включающий в себя аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи (АЦП/ЦАП), процессоры цифровой обработки сигналов (ЦОС, DSP) и аналоговые компоненты усиления и фильтрации. Платформа SDR обеспечивает возможность программного управления процессами усиления, фильтрации и обработки сигналов как непосредственно на устройстве, так и на внешнем компьютере.

На сегодняшний день устройства данного класса обеспечивают цифровую обработку сигналов в частотном диапазоне от единиц килогерц до 6-8 гигагерц с полосой обрабатываемого сигнала в пределах 20-50 МГц. Это открывает широкие возможности для моделирования сложных цифровых каналов передачи информации, радиолокационных систем и радиомониторинга.

Применение модулей SDR позволяет модернизировать существующие лабораторные стенды фазированных антенных решеток (ФАР) для расширения их функциональных возможностей. Это дает возможность внедрить в учебный процесс новую тематику лабораторных работ по исследованию характеристик цифровых антенных решеток (ЦАР), а также расширить существующие лабораторные работы по исследованию режимов работы аналоговых ФАР.

**Структура полотна ФАР.** Модернизируемый лабораторный макет (см. рис. 1) представляет собой линейку из пяти антенных элементов типа «волновой канал», положение которых в пространстве может изменяться путем их перемещения вдоль направляющих. Данный метод предоставляет возможность визуально продемонстрировать корреляцию между

параметрами диаграммы направленности (ДН) фазированной антенной решетки и шагом между излучающими элементами антенны.

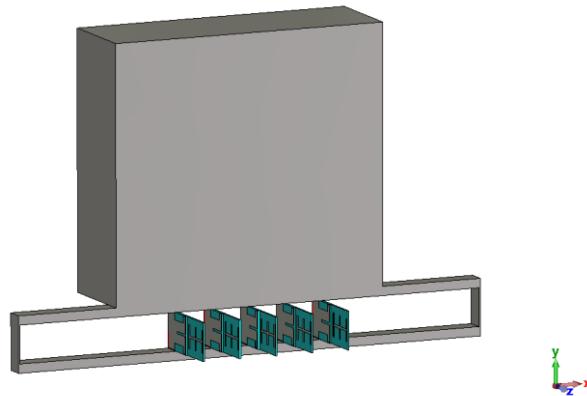


Рис. 1. Модель лабораторного макета

Над антенным полотном данной ФАР расположен металлический блок, внутри которого размещены блоки управления и обработки сигналов. Распределительная система ФАР построена на коаксиальных линиях.

**Конструкция антенного элемента.** Антенный излучатель выполнен в виде печатной структуры, что способствует минимизации габаритов устройства, снижению его стоимости и массы.

Конструкция антенны реализована с применением двух слоев фольгированного материала ФАФ-4 толщиной  $s = 2$  мм каждый (см. рис. 2). Относительная диэлектрическая проницаемость данного материала составляет  $\epsilon_r = 2.5 \pm 0.2$ .

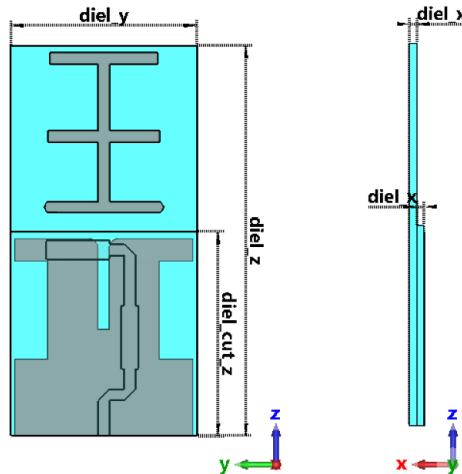


Рис. 2. Модель излучателя

Табл. 1. Параметры модели излучателя

Параметр	Значение
diel_x	2 мм
diel_y	50 мм
diel_z	105 мм

**Блоки цифровой обработки сигнала.** В качестве аппаратной платформы было выбрано 5 SDR-модулей HackRF One, что обусловлено их удовлетворительными техническими характеристиками, развитым программным обеспечением и относительно низкой стоимостью.

Каждый модуль HackRF One был интегрирован в конструкцию макета и подключен к соответствующему антенному элементу с помощью коаксиальных кабелей. Модули были установлены в непосредственной близости от антенн для минимизации потерь в фидере.

Для обеспечения когерентной работы всех приёмных каналов, критически важной для задач цифрового формирования луча, использовался метод синхронизации по общему тактовому сигналу.

**Заключение.** Применение пяти синхронизированных приемопередающих модулей создает гибкую платформу для когерентной обработки сигналов, что является основой для реализации алгоритмов цифрового формирования луча (Digital Beamforming).

Реализация данного проекта значительно модернизирует лабораторную базу, обеспечивая переход от изучения традиционных принципов аналогового фазирования к исследованию современных технологий цифровой обработки пространственных сигналов. Это соответствует текущим тенденциям в развитии радиосистем и способствует повышению качества инженерного образования в области антенных технологий и беспроводной связи.

Список использованных источников:

1. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решёток / под ред. Д. И. Воскресенского. — Москва : Радиотехника, 2012. — 744 с.
2. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. — Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011. — 768 с.
3. Устройства СВЧ и антенны / под ред. Д. И. Воскресенского. — 2-е изд., доп. и перераб. — Москва : Радиотехника, 2006. — 376 с. : ил.

### **Роль частных компаний в трансформации космической отрасли**

**Блудов Артём Андреевич**

Научный руководитель – Огородников С.С.

МАИ, Москва

Ключевые слова: Новый космос, трансформация, ракеты-носители, многоразовость, коммерциализация.

Актуальность исследования заключается в том, что современная космическая отрасль переживает фундаментальную трансформацию, связанную с переходом от государственной монополии к модели коммерческого освоения космоса. Эта трансформация привела к

радикальному снижению стоимости космических запусков, появлению новых рынков и ускорению технологического развития, что требует системного научного осмысления [1].

Гипотезой исследования предполагает, что частные компании выступают катализатором структурной трансформации глобальной космической отрасли. Они способствуют не только технологическим прорывам, но и формированию новой системы освоения космического пространства, основанной на экономической эффективности и коммерческой целесообразности.

Целью исследования является комплексный анализ влияния частных компаний на структурную трансформацию глобальной космической отрасли. Задачи: 1. Исследовать историческую эволюцию роли частных компаний в космической отрасли 2. Проанализировать ключевые технологические прорывы (многоразовые системы, снижение стоимости запусков) 3. Изучить экономический эффект от коммерциализации космической деятельности 4. Оценить изменение конкурентной среды на рынке космических услуг 5. Проанализировать модели взаимодействия государственных и частных субъектов 6. Выявить системные риски и перспективы развития частной космонавтики.

В работе применяется комплекс методов: сравнительный анализ эффективности государственных и частных программ; статистический анализ динамики рынка космических запусков; картографический метод визуализации изменений в отраслевой структуре.

Выводы:

1. Установлено, что частные компании обеспечили снижение стоимости вывода грузов на орбиту в 3-4 раза благодаря внедрению многоразовых технологий [2].
2. Выявлено формирование новой структуры космического рынка с диверсификацией услуг (спутниковые группировки, космический туризм, ДЗЗ) [3]
3. Доказана эффективность модели государственно-частного партнерства для реализации масштабных космических программ [4]
4. Определены ключевые вызовы: необходимость правового регулирования, проблема космического мусора, риски коммерциализации [5].

Список использованных источников:

1. Davenport C. "The Space Barons: Elon Musk, Jeff Bezos, and the Quest to Colonize the Cosmos" (2018)
2. NASA отчеты по программе COTS и Commercial Crew (2006-2022)
3. Bryce Space and Technology "Start-Up Space" (2022-2023)
4. OECD "The Space Economy in Figures" (2023)
5. Mazanek D. D. et al. "NASA's Artemis Program: An Overview" (2020)

## Обзор современного состояния отрасли радиозондирования земной атмосферы

Вуколов Андрей Алексеевич, Киселев Артём Евгеньевич

Научный руководитель – Гаджиев Э.В.

МАИ, Москва

Ключевые слова: радиозатменное зондирование, космический аппарат, мониторинг атмосферы и ионосферы, искусственный спутник земли, бортовые антенные системы

Термин радиозондирования земной атмосферы (РЗЗА) предполагает дистанционный сбор различной информации об объекте без какого-либо контакта с ним, при помощи зондирующих сигналов, лежащих в радиодиапазоне. Такие исследования необходимы для получения огромного пласти информации об окружающей нас среде, которая в дальнейшем используется в совершенно различных отраслях, таких как авиация, химическая и оборонная промышленности и многие другие. [1]

В настоящее время успешно применяются различные космические аппараты (КА), такие как, искусственные спутники земли (ИСЗ), ракеты и высотные самолеты. В данной статье более подробно будет рассматриваться способ РЗЗА при помощи ИСЗ, будут изучены их характеристики и сформулированы современные требования к аппаратам данного типа.

Принцип работы данных систем заключается в использовании двух ИСЗ: излучателя (G) и приемника (L), которые будут находиться на орбитах разной высоты и двигаться с различными скоростями относительно земной поверхности. При заходе L в зону тени Земли относительно G, точка T, которая является перигеем, перемещается вдоль отрезка TD, и тем самым проходит через слои атмосферы и ионосферы, рисунок 1.

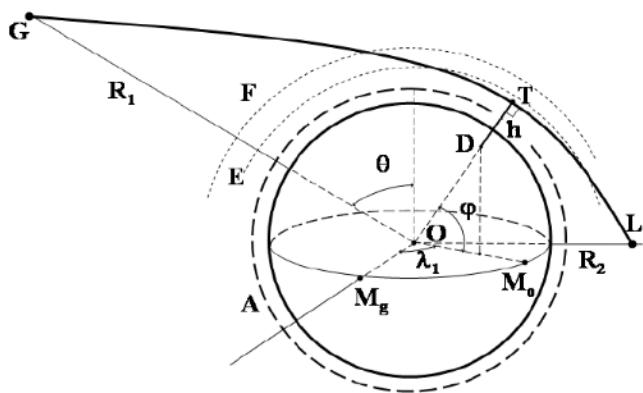


Рис. 1. Геометрия радиозатменного эксперимента

Приемник, установленный на L, регистрирует сигналы, излученные G, и по анализу изменения фаз и амплитуд собирает информацию о характеристиках околоземного пространства. Сбор информации проходит вдоль отрезка GTL, при этом можно считать, что на участке возможна локальная сферическая симметрия, благодаря чему можно допустить, что изменения в околоземных слоях происходят в основном на участках вблизи точки T.

Дальше по полученным изменениям фаз и амплитуд и по известным траекториям движения G и L можно рассчитать высотный профиль угла рефракции и затем, с помощью преобразования Абеля, найти высотную зависимость показателя преломления в атмосфере, а также электронной концентрации в ионосфере. [2]

По итогу таких радиозатменных измерений можно получить различную информацию о состоянии:

- атмосферы: плотность воздуха, температура, влажность и пр. (график температуры, полученный таким способом, представлен на рисунке 2 слева.).
- ионосферы: электронная концентрация (график приведен на рисунке 2 справа).

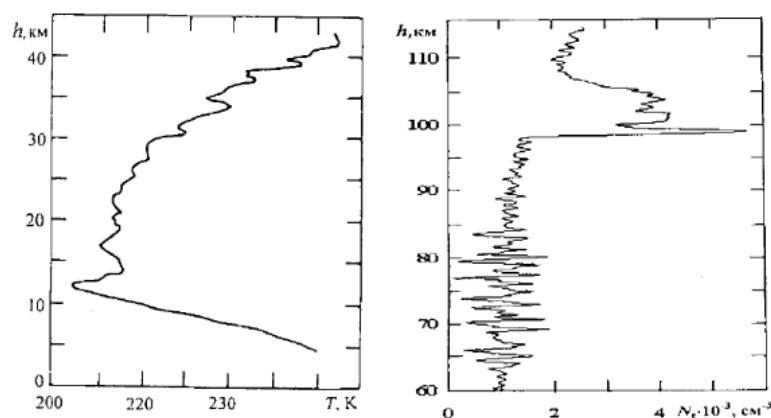


Рис. 2. Графики температур и электронной концентрации  
– отражении от земной поверхности (график приведен на рисунке 3).

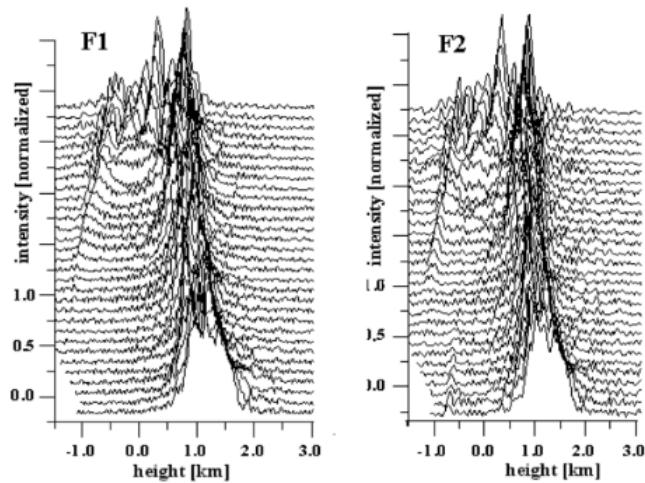


Рис. 3. Диаграммы отражения от земной поверхности

Основной целью данной работы является исследование современных аппаратов РЗЗА и определение перспективных направлений разработки в части проектирования бортовой антенной системы.

Вышеописанный метод получил существенное практическое развитие благодаря развертыванию низкоорбитальных спутниковых метеорологических группировок малых КА типа «CubeSat», например «Lemur-2» компании «Spire Global». В российской орбитальной группировке по состоянию на настоящий момент не имеется ни одного космического аппарата, оснащенного научной аппаратурой радиозатменного зондирования, что ограничивает возможности по сбору метеорологической информации российскими компаниями. Из ближайших аналогов готовиться запуск серии спутников «Хорс № 3, 4», разработанный студентами на базе МГТУ им. Баумана, поэтому сведем в таблицу 1 сравнение их характеристик с американскими МКА.

Табл.1. Сравнение характеристик МКА

Параметр	Lemur-2	Хорс №4
Форм фактор	3U CubeSat / 6U CubeSat	6U XL CubeSat
Габариты, мм	226,3x100,0x365,9 мм	226,3x100,0x365,9 мм
Масса, кг	4	10.7
Параметры орбиты, км	400 – 650	500
Состав полезной нагрузки	<ul style="list-style-type: none"> <li>– STRATOS (GPS radio occultation measurements)</li> <li>– SENSE (ships at sea tracking)</li> <li>– AIRSAFE / ADS-B (aircraft tracking)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– РЗЗА «Детектор-ГНСС»</li> <li>– Приемник АИС и АЗН-В</li> </ul>
Частота работы радиолиний		
Борт – Земля	---	437,7 МГц; 2445 МГц
Земля – Борт	---	437,7 МГц

Исходя из характеристик КА можно прийти к выводу, что, запуская МКА в форм факторе «CubeSat» необходимо использовать печатные антенны, за счет их габаритных характеристик и возможности выпуска сразу большой партии абсолютно идентичных антенн. Возможные предъявляемые требования к бортовым антенным системам приведены в таблице 2.

Табл. 2. Возможные характеристики бортовых антенн

Параметр	Значение параметра
Масса антенны РЗЗА, кг	Не более 0.5
Ширина ДН, °	120
Энергопотребление, Вт	Не более 0.4

Список использованных источников:

1. Киселев, В.Н. «Методы зондирования окружающей среды (атмосферы)» / В.Н. Киселев, А.Д. Кузнецов. – Санкт-Петербург : РГГМУ, 2004. – 426 с.
2. Космическая система на основе сверх малых спутников "Радиомет-СМКА" для радиозатменного мониторинга атмосферы и ионосферы сигналами ГНСС Глонасс и GPS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://d33.infospace.ru/d33\\_conf/2010\\_conf\\_pdf/atmos/vishniakov.pdf](http://d33.infospace.ru/d33_conf/2010_conf_pdf/atmos/vishniakov.pdf). – Дата доступа: 02.12.2025.
3. Сутырина, Е.Н. «Дистанционное зондирование Земли» / Е.Н. Сутырина, А.Д. Кузнецов. – Иркутск : ИГУ, 2013. – 167 с.
4. Аппараты Хорс №3 и №4 - Парус-МГТУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://bsail.ru/?page\\_id=3059&lang=ru](https://bsail.ru/?page_id=3059&lang=ru). – Дата доступа: 02.12.2025.
5. DESIGN OF ARCHIMEDEAN SPIRAL ANTENNA FOR RADAR APPPLICATIONS / S. RAJESH KUMAR [и др.] // International Journal of Pure and Applied Mathematics. – 2018. – Т. 15, № 119. – С. 6

**Развитие аэрокосмической отрасли: история, проблемы, перспективы**

**Городецкий Артемий Игоревич**

Научный руководитель – Терешонков В. А.

МАИ, Москва

Ключевые слова: история авиапрома, ВАе 146, нишевая стратегия, технологические решения, перспективы отрасли

Историю Аэрокосмической отрасли можно проследить через ключевые летательные аппараты. Каждый такая машина олицетворяет свою эпоху. На этапе проектирования каждый создатель самолета всегда сталкивается с глобальными проблемами, которые он решает удачно или неудачно. Из каждого такого этапа развития отрасли все авиаторы мира должны получать бесценный опыт, чтобы создавать востребованные, а значит успешные машины. Одним из таких успешных примеров является самолет, созданный в сложное для своей страны время – ВАЕ-146.

История программы ВАЕ-146 – это пример о хорошей гибкости британского авиапрома под новые реальности. Он стал откликом на трудности 70-ых: нефтяной кризис 73 года и ужесточение шумовых и экологических норм.

Ключевой проблемой, решенная этим самолетом, отсутствие для региональных аэропортов комфортных, тихих и экономичных лайнеров, умевших работать на коротких ВПП.

Решением стала конструкция самолета: высокоплан с 4 ТРДД на пилонах под крылом, развитая механизация. Это позволило сохранить взлетно-посадочные характеристики турбовинтовых самолетов, и дать комфорт, тишину и скорость.

Успех Bae-146 доказал британцам, что отрасль не заканчивается на гигантских самолетах, а существует путь создания низшего, максимально заточенного под требования рынка и инфраструктуры Принцип "нишевизации" и по сегодняшний день актуален, в эру проектирования гибридных самолетов.

**Имитационное моделирование логики переключения передач АКПП на основе цветных сетей Петри**  
**Дыбалева Александра Петровна<sup>1</sup>, Агамиров Владимир Левонович<sup>2</sup>**  
**Научный руководитель – Склеймин Ю. Б.**

МАИ<sup>1</sup>, МТУСИ<sup>2</sup>, Москва

Ключевые слова: автоматическая коробка переключения передач, имитационное моделирование, цветные сети Петри, Matlab, формальная верификация, Simulink

Современные транспортные средства — сложные киберфизические системы, где рост числа передач в АКПП (с 4–5 до 8–10) улучшает топливную экономичность, но экспоненциально усложняет логику управления и значительно повышает стоимость физических испытаний, особенно в условиях растущих требований к надёжности автономного транспорта.

В этих условиях возрастает роль виртуального моделирования и формальной верификации. MATLAB/Simulink с Stateflow широко используются в индустрии, но Stateflow (неформальная модель) не обеспечивает автоматическую проверку свойств безопасности и активности, однако цветные сети Петри (CPN) предоставляют строгую математическую основу для эффективного моделирования логики управления современными АКПП.

Суть работы заключалась в разработке и верификации гибридной модели автомобиля с АКПП, в которой непрерывная динамика моделируется в Simulink, а логика переключения передач — с помощью CPN. Подход сочетает промышленную применимость Simulink с возможностью формального анализа корректности управляющей логики.

В ходе работы была создана эталонная модель АКПП в среде Simulink. Модель состоит из пяти ключевых подсистем:

Signal Editor — генерирует профиль ускорения Gradual\_Acceleration по сигналам throttle (положение дросселя) и brake (тормозной момент).

Engine — вычисляет обороты двигателя Ne (об/мин).

Transmission — моделирует гидротрансформатор через таблицы K factor и Torque ratio, а передаточные числа задаются вектором для передач 1–4.

Vehicle — рассчитывает линейную скорость с учётом сопротивления road load, главной передачи и радиуса колеса.

Shift logic — Stateflow-диаграмма с состояниями steady state (стабильное состояние), upshifting (состояние повышения передачи), downshifting (состояние понижения передачи).

Логика переключения передач из Stateflow-диаграммы shift logic была формализована в рамках теории цветных сетей Петри — расширения классических сетей Петри для моделирования сложных параметризованных систем. В отличие от классических сетей Петри, в CPN маркеры обладают «цветом» — структурированным значением из заданного цветового множества, что позволяет компактно кодировать данные и избегать комбинаторного взрыва числа мест и переходов.

Цветовое множество маркеров определено как структура данных:

$$\begin{aligned} Token = record \{ & gear : \{1, 2, 3, 4\}, speed : \mathbb{R}^+, throttle : [0, 100], state \\ & : \{steady, up, down\} \} \end{aligned}$$

Переходы CheckUp и CheckDown снабжены условиями, задающими предусловия срабатывания:

$$\begin{aligned} CheckUp: & speed > up_{th}(gear, throttle) \\ CheckDown: & speed < down_{th}(gear, throttle) \end{aligned}$$

Функции порогов  $up_{th}$  и  $down_{th}$  реализованы через двумерную линейную интерполяцию по таблицам uptab и downtab, что обеспечивает соответствие физическим характеристикам трансмиссии.

CPN-модель обеспечивает математически строгую основу для верификации свойств безопасности (отсутствие недопустимых состояний) и активности (гарантированное переключение при выполнении условий). Её логика реализована в MATLAB Function Block с использованием persistent-переменных и условных операторов, что позволило заменить блок shift logic без изменения остальной архитектуры модели.

В рамках исследования разработана анимация, наглядно отображающая: динамику физических переменных, изменение управляющих порогов и состояние формальной логики переключения передач.

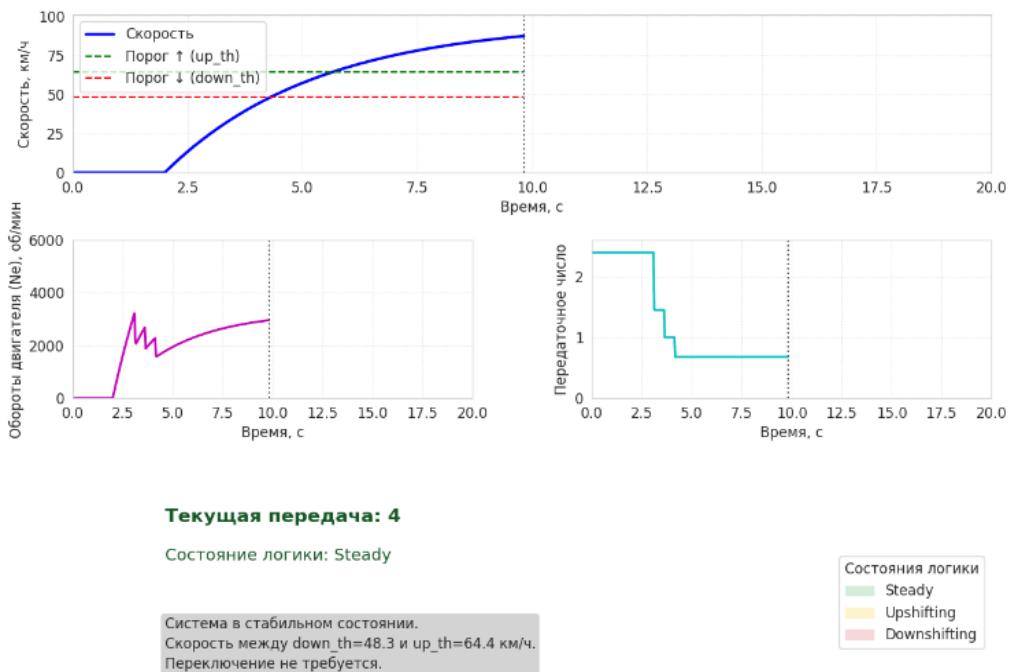


Рис. 1. График динамики переключения передач

В работе успешно реализована гибридная модель автомобиля с автоматической коробкой передач в среде Simulink, в которой логика переключения передач заменена на формальную модель на основе CPN. Показано, что CPN-подход полностью воспроизводит поведение оригинальной Stateflow-логики, обеспечивая при этом математическую строгость, верифицируемость и расширяемость. Интеграция через MATLAB Function Block сохраняет совместимость с промышленными инструментами, а визуализация подтверждает корректность взаимодействия непрерывной динамики и дискретного управления. Предложенный метод позволит создать надёжные, верифицируемые системы управления для современных киберфизических транспортных средств.

Список использованных источников:

4. Агамиров В.Л., Агамиров Л.В., Вестяк К.В., Гаева А.П. Разработка структурно-параметрической модели автоматической коробки передач с использованием имитационного моделирования и сетей Петри // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : Материалы XXXI Международного симпозиума имени А.Г. Горшкова. – Москва: ООО "ТРП", 2025. – С. 7-8.
5. Амелин С.В. Математические методы и модели в экономике: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. данные (3,02 Мб) // Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017.
6. Davidrajuh R. Petri Nets for Modeling Complex Discrete-Event Systems. Stavanger: University of Stavanger, 2023. 168 p.

**Разработка модельно-методического аппарата формирования  
парка региональной авиации**

**Егрицин Михаил Алексеевич, Мирский Борис Сергеевич**

Научный руководитель - Русак М.А.

МАИ, Москва

Ключевые слова: математическое моделирование, оптимизация, формирование полетных планов, парк авиакомпании, анализ эффективности

Воздушный транспорт является неотъемлемой частью экономики большинства развитых стран. Кроме пассажирских перевозок, авиация обеспечивает быструю перевозку высокотехнологичных товаров между странами, поддерживает мобильность рабочих, инженеров и ученых, стимулируя развитие производств, инфраструктуры, технологий, в том числе, обеспечивая обмен научными достижениями. Кроме того, авиаперевозки неразрывно связаны с отраслью туризма, как международного, так и внутреннего [1]. Поэтому субъекты, формирующие авиационную отрасль: авиакомпании, авиапроизводители и государственные регуляторы, заинтересованы, как минимум, в поддержании имеющихся объемов перевозок, а как максимум – в обеспечении их стабильного роста. С другой стороны, геополитические, экономические и экологические внешние факторы часто приводят к повышению стоимости производства авиационной техники и/или увеличению издержек авиакомпаний. Это приводит к увеличению стоимости билетов, снижая доступность и объемы авиаперевозок, и потенциально наносит ущерб целому ряду других отраслей экономики [2].

Если рассматривать способы поддержания или стимулирования роста объемов авиаперевозок в условиях ограниченных экономических ресурсов, интересным является развитие подхода, сформулированного в работе [3], заключающегося в поиске и принятии оптимального ценового компромисса между авиапроизводителями и авиакомпаниями, обеспечивающего равный уровень рентабельности сторон. Предполагается, что такой подход к регулированию ценовой политики должен смягчить воздействие внешних факторов на операционную деятельность субъектов и позволить им легче пережить кризисные периоды.

С другой стороны, даже при отсутствии экономических и политических проблем, между производителем и покупателем авиационной техники существует конфликт интересов, поскольку обе стороны заинтересованы в повышении собственной рентабельности. Обычно справедливая цена на товар в условиях рыночной экономики достигается за счет конкурентной борьбы производителей, не позволяющей необоснованно завышать цену. Но в ситуациях, когда на рынке авиационной техники ослабевает конкуренция, например, из-за ухода иностранных производителей или введения политики протекционизма, будет появляться риск завышения цен со стороны производителей и роста издержек эксплуатанта. Рассмотренные

факторы также могут привести к снижению эффективности предлагаемой на рынке продукции авиационной отрасли.

Наиболее уязвимыми к таким ситуациям являются региональные и местные авиаперевозчики в связи с их недостаточным финансовым обеспечением, низким платежеспособным спросом на внутренних рейсах и необходимостью поддержания и развития наземной инфраструктуры.

Целью данной работы является создание модельно-методического аппарата формирования рационального функционально-технического облика самолетов региональной авиации и определения равновесной цены воздушного судна (ВС) на основе системы моделей планирования применения малой и региональной авиации [4].

Моделирование планирования применения авиации, в которое входит формирование комплексного плана применения парка ВС на аэропортовой сети региона, можно применять как для повышения эффективности парка существующих авиакомпаний или формирования нового парка из существующего типоряда воздушных судов, так и для поиска наиболее рационального набора тактико-технических требований к перспективных воздушным судам. На основе получаемых тактико-технических требований могут быть определены основные тактико-технические характеристики (ТТХ) [5, 8] воздушных судов, включая летно-технические характеристики, стоимость разработки и производства, экономическая эффективность эксплуатации, и определена цена, обеспечивающая необходимый уровень рентабельности авиапроизводителя и эксплуатанта.

Формализация и решение перечисленных выше подзадач основано на ряде положений, основные из которых:

- Парк ВС авиакомпании предполагается однотипным;
- Общая задача декомпозирована на три субоптимальных этапа, позволяющих последовательно преодолевать возникающие на каждом шаге неопределенности;
- Поиск рационального набора тактико-технических требований (ТТТ) проводится внутри заранее определенного диапазона характеристик с некоторым постоянным шагом, при этом часть ТТТ рассчитывается по эмпирически выведенным зависимостям, что позволяет значительно сократить количество итераций необходимых для получения результата;
- Для каждого рассматриваемого набора ТТТ определяется субоптимальный план применения парка, состоящего из воздушных судов с данными характеристиками, на основе этого плана рассчитывается предварительная стоимость перевозки одного пассажира;

- ТТХ рационального варианта ВС выбирается исходя из минимизации эксплуатационных затрат авиаперевозчика, а цена ВС определяется равенством рентабельностей производителя и эксплуатанта.

При отсутствии подробной информации о перевозках, составе парков авиакомпании, маршрутах и выполняемых рейсах, а также при решении задачи формирования нового парка из имеющихся или перспективных воздушных судов, предварительно должна быть решена задача поиска рационального парка и рационального плана перевозок, которые позволяли бы обеспечить минимальные затраты на перевозку каждого пассажира при выполнении плана перевозок и удовлетворении ограничениям на выполнение требуемого объёма работ [6]. Задача определения рационального парка и определения рационального плана перевозок решается для каждого из рассматриваемых или сгенерированных вариантов ТТТ, в качестве критерия выбора рационального облика рассматривается показатель средних затрат на перевозку одного человека, для решения этой задачи применяется модельно-методический аппарат со структурой изображенной на рисунке 1.

В качестве исходных данных используются характеристики рассматриваемых вариантов воздушных судов, характеристики аэродромной сети в виде матрицы расстояний и матрицы наличия инфраструктуры, матрицы стоимости обслуживания, пассажирооборот на авиалиниях, соединяющих аэропорты в виде матрицы потребностей в перевозках, ограничение на минимальный объем удовлетворённых потребностей региона.

Созданный модельно-методический аппарат позволяет провести моделирование процессов, происходящих в отраслях производства и эксплуатации авиационной техники и связать их между собой в полный цикл, включающий формирование технического облика перспективного ВС на основе потребностей отдельных эксплуатантов или группы эксплуатантов, моделирование применения с оценкой эффективности сформированных обликов ВС и расчет стоимости их создания с учетом поиска компромисса между рентабельностью производителя и эксплуатанта.

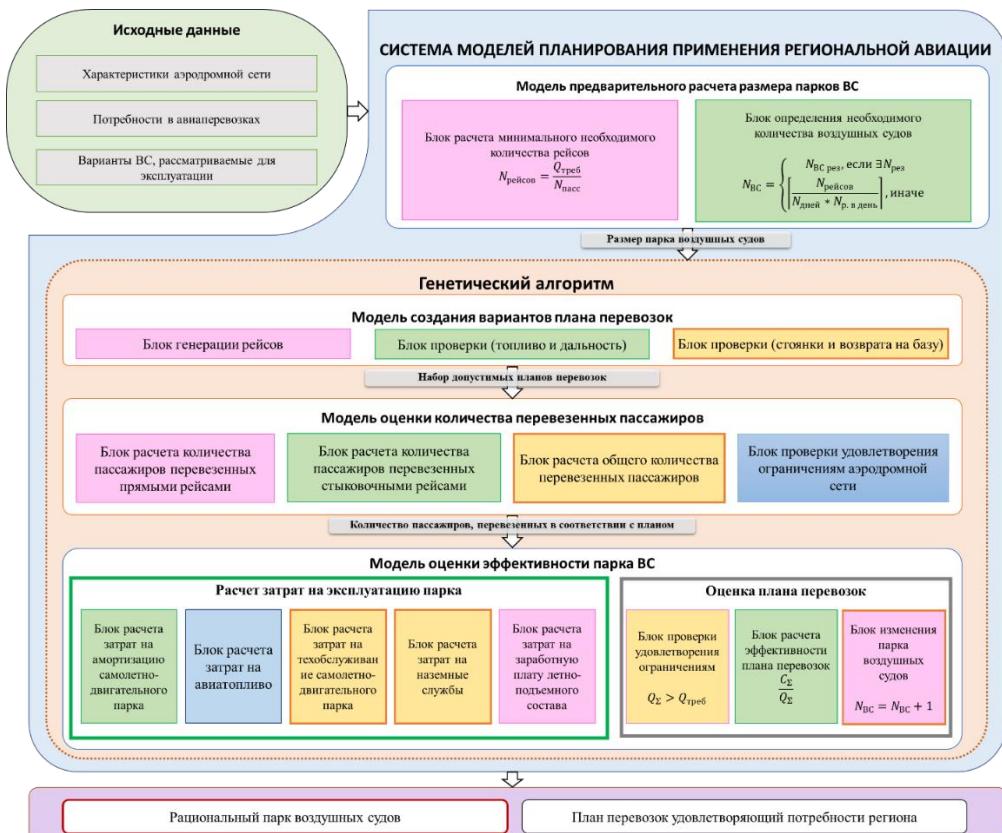


Рис. 1 – Состав и структура модельно-методического аппарата

Список использованных источников:

- Гусева М.В. Зависимость туристического потенциала удаленных регионов России от авиационного транспорта // Стратегия устойчивого развития регионов России. 2011. С. 159-163.
- Брутян М. М. Мировой рынок гражданской авиации: текущее состояние и прогноз развития // Вестник Евразийской науки. 2019. № 1, Том 11.
- Жеребин А.М., Мусина Л.Н. Моделирование и обоснование функционально-технического облика самолетов региональной авиации на основе концепции «равновесной цены» // сборник тезисов докладов V Всероссийской научно-технической конференции «Моделирование авиационных систем». Москва, 2023. С. 17-20.
- Жеребин А.М., Малафеев И.В., Егришин М.А. Система моделей планирования применения малой и региональной авиации // сборник тезисов докладов V Всероссийской научно-технической конференции «Моделирование авиационных систем». Москва, 2023. С. 15-17.
- Левков В.Г., Скрипниченко Ю.С., Никифоров Н.С. Разработка модельно-методического аппарата формирования обликовых характеристик самолетов малой авиации и исследование влияния характеристик силовых установок различного типа на эффективность

эксплуатации // В сборнике: Моделирование авиационных систем. материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2013. С. 36.

6. Скрипниченко Ю.С., Егришин М.А., Савинков Н.Т., Морина А.Р., Токмаков И.А., Малафеев И.В., Аносов А.Д. Разработка модельно-методического аппарата формирования рационального парка воздушных судов на основе прогнозной оценки динамики пассажирских авиаперевозок // В книге: Навигация, наведение и управление летательными аппаратами. Тезисы докладов. Москва, 2024. С. 45-47.

7. Топоров Н.Б., Скрипниченко Ю.С., Малафеев И.В., Вавилов Д.С., Русак М.А. Комплекс ситуационного моделирования как основа системы поддержки принятия решений в области авиастроения в современных условиях // В сборнике: Физико-техническая информатика (СРТ2021-2022). Материалы Международной конференции. Нижний Новгород-Москва-Пущино, 2022. С. 114-119.

8. Скрипниченко Ю.С., Малафеев И.В., Федонин Р.М., Мыскин Д.Н. Модельно-методический аппарат поддержки принятия решений для формирования рационального облика сверхзвукового пассажирского самолета // В сборнике: Технологическое развитие авиастроения: глобальные тенденции и национальные интересы России. Труды Второй научно-практической конференции. Москва, 2023. С. 108-113.

**Формирование кадрового резерва авиационной отрасли через развитие культуры интеллектуальной собственности у школьников и студентов**

**Екимовская Анна Алексеевна<sup>1</sup>**

Научный руководитель – д.т.н. Лебедев В.В.<sup>2</sup>

МАИ<sup>1</sup>, Москва

Благотворительный фонд «Образование+»<sup>2</sup>, Королев

Ключевые слова: патентование, патент, интеллектуальная собственность, результаты интеллектуальной деятельности, школьник

Студенческая научно-исследовательская работа является непрерывным продолжением патентного направления деятельности, которое появилось в школьном научно-техническом кружке «Юный физик – умелые руки» более десяти лет назад. Появился закономерный вопрос о причине резкого повышения внимания обучающихся к патентной деятельности. У студентов первого курса ВУЗа происходит ломка динамического стереотипа, переход от школьного процесса обучения к зачётной системе с освоением экзаменационных сессий. Но даже в таких напряженных условиях обучающиеся нашли время и возможность дополнительно к учебному плану заниматься не только научно-техническим творчеством, но ещё и отвлечься на патентную деятельность.

Цель работы заключается в выяснении причин и резкого, качественного, положительного скачка в патентной деятельности только единиц обучающихся и разработке рекомендаций для дальнейшего масштабирования положительного опыта. Объект изучения – школьный и студенческий научно-технический кружок как составная часть студенческого научного общества ВУЗа. Предмет изучения – активность патентной деятельности обучающихся, школьников и студентов.

Анализ литературы по объекту и предмету изучения выполнен, прежде всего, по оперативным источникам информации. К оперативным источникам информации относятся, например, материалы Всероссийского практикума «Твоя интеллектуальная собственность», НОЦ, Роспатент-ФИПС, 11-22 ноября 2024 г. [1]. Подобные вебинары проводятся ежегодно, позволяют оперативно следить за изменениями в патентном законодательстве [2]. 2022-2023 и 2023-2024 учебные годы были посвящены развёртыванию в школьном кружке патентной деятельности. Вроде бы, учебная программа создана, школьники начали работать, кое-как наладилось патентное руководство учениками, поверхностно были изучены основы патентного законодательства и патентного делопроизводства, все ученики побывали в экспедиции ФИПС, сдали заявки на патенты – всё это содержится в уже работающей программе обучения патентной деятельности. Психологические основы обучения, то есть психология педагогики, были изучены и предложены к практическому применению классиком этого направления Львом Семёновичем Выготским [3]. Суть основных приложений этой теории к патентной деятельности сводится к чёткому разграничению трёх позиций:

- 1) что может ребёнок сделать полностью самостоятельно (зона актуального развития), например, выпилить деталь из тонкой фанеры ручным лобзиком;
- 2) что может ребёнок сделать с помощью учителя (зона ближайшего развития), например, выпилить деталь из толстой фанеры электрическим лобзиком;
- 3) что в принципе ребёнок не может сделать даже с помощью учителя (зона перспективного развития), например, выпилить деталь из титана – нужны специальные титановые технологии, которые есть только на специальном заводе.

Процесс осмыслиения государственного уровня патентной работы происходит постепенно, от живого созерцания красивых патентных документов до абстрактного понимания сути законодательства и делопроизводства. Но начать постепенно формировать такое осознание вполне можно с младших классов школы [4].

Исходными данными для решения поставленных задач стала разработанная ранее программа обучения патентной деятельности [5]. Программа разрабатывалась и внедрялась как частное, дополнительное направление технического творчества школьников. Структура учебной программы традиционная, содержит пункты исторического характера и разделы для

практической подготовки заявок на патенты с последующей перепиской с ФИПС. Анализ показывает, что половина учеников, начавших работать в патентной области, активно вовлекаются в эту деятельность, поэтому нельзя говорить, что призывы патентовать технические решения пропадают впустую. **Материальный стимул** всегда был и остаётся мощным мотивом любой деятельности, особенно для школьников. Но **моральное поощрение имеет отложенный материальный стимул** для дальнейшей работы в области патентования. Более того, **моральные поощрения в виде патентов влекут неявный материальный стимул**. Поводя итоги анализу достижений обучающихся в школьном научно-техническом кружке, убедительно можно сделать следующие выводы.

- 1) Патент или даже заявка на патент часто становится материальным стимулом для продолжения патентной деятельности обучающегося.
- 2) Патент или даже заявка всегда становится моральным стимулом для продолжения патентования, например, при его учёте в системе eLibrary.
- 3) Патент или даже заявка на патент имеют педагогическую направленность, потому что расширяют своё влияние на окружающих положительным примером.
- 4) Патентная документация способствует реальной профориентации школьников, открывая для них новые ВУЗы.

Список использованных источников:

1. Всероссийский практикум «Твоя интеллектуальная собственность», НОЦ, Роспатент-ФИПС, 11-22 ноября 2024 г., список вебинаров, дистанционное обучение, 24 акад. ч. - [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://vk.com/video457927039\\_456239510](https://vk.com/video457927039_456239510) (дата обращения 31.08.2025).
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 18 сентября 2024 г. №1278 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 10 декабря 2008 г. № 941», «Положение о патентных и иных пошлинах за совершение юридически значимых действий...»
3. Выготский Л.С. Психология развития ребёнка. - М.: Изд-во Смысл, Изд-во Эксмо, 2005. - 512 с. - (Библиотека всемирной психологии). - ISBN 5-699-13731-9.
4. Екимовская О.В., Екимовская А.А. Ознакомление учеников начальной школы с понятием интеллектуальной собственности. – Всероссийская с международным участием школа-конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Материалы и технологии 21-го века». – Казанский (Приволжский федеральный университет, 5-6 декабря 2024 г. – Секция «Образовательные технологии» - [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://kpfu.ru/science/nauchno-issledovatel'skaya-rabota-studentov-nirs/materialy-i-tehnologii-xxi-veka-xxi-veka/glavnaya> (дата обращения 31.08.2025).

5. Екимовская А.А. Опыт практического внедрения учебной программы «Основы патентной деятельности» в школьном кружке / Сборник тезисов работ международной молодежной научной конференции L Гагаринские чтения 2024. — М.: Издательство «Перо», 2024. — 9,43 Мб. [Электронное издание]. — 890 с. - ISBN 978-5-00244-565-3. - УДК 629.7.01. - ББК 39.6я43. С23. — С.629-630. — [Электронный ресурс] — Режим доступа: [https://gagarin.mai.ru/files/2024/2024\\_sbornik\\_tezisov.pdf](https://gagarin.mai.ru/files/2024/2024_sbornik_tezisov.pdf) (дата обращения 31.08.2025).

**Треугольная вращающаяся система малых космических аппаратов для манёвра на орbitах без химического топлива**

**Екимовская Анна Алексеевна<sup>1</sup>**

Научный руководитель – д.т.н. Лебедев В.В.<sup>2</sup>

МАИ<sup>1</sup>, Москва

Благотворительный фонд «Образование+»<sup>2</sup>, Королев

Ключевые слова: космический аппарат, вращение, энергия, манёвр Гомана, треугольник, центр масс, орбита

Для изменения орбиты космического аппарата (КА), в основном, учитывают и применяют на практике кинетическую энергию поступательного движения центра масс системы, забывая о вращении тела [1]. Однако с древних времён известно боевое орудие и орудие охоты в виде пращи [2]. Древние люди раскручивали предмет, передавая ему энергию, затем отпускали предмет в заданном направлении. Этот метод сообщения телу дополнительной скорости можно применить для космических аппаратов. Очередной задачей становится выбор общей схемы, конфигурации вращающейся системы. Так как предметом исследования в этой работе является манёвр Гомана, то требуются два приращения скорости. Значит, вращающаяся система должна содержать в своём составе два аналога пращи и предусмотреть два сброса отдельных модулей. Это означает, что система должна состоять, как минимум, из трёх вращающихся тел. Появилась задача согласования баллистических требований с геометрическими характеристиками малого КА.

До устранения связей между телами система имеет форму треугольника. Этот треугольник выведен на орбиту и совершает поступательно-вращательное движение. Задана высота начальной орбиты  $h_1$ . Для достижения цели работы требуется перевести один из модулей системы малых КА на более высокую круговую орбиту с высотой  $h_2 > h_1$  над поверхностью Земли. Традиционным и классическим способом изменения высоты орбиты является последовательное сообщение объекту двух импульсов с помощью ракетных двигателей. В новом способе изменения высоты орбиты эти импульсы получают не от ракетных двигателей, а за счёт величины относительной линейной скорости крутящейся

вокруг центра масс механической системы. На рис.1 изображена общая схема нового способа получения объектами дополнительных разгонных или тормозящих скоростей.

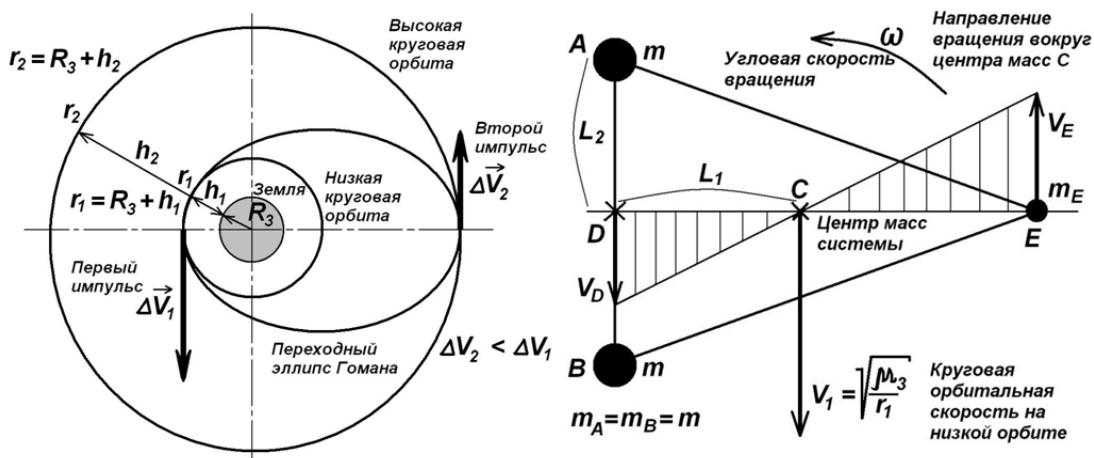


Рис. 1. Схема перехода Гомана вращающейся треугольной системой

Первая космическая скорость  $V_1$  определяется радиусом  $r_1 = R_3 + h_1$  орбиты и гравитационным параметром планеты [1]:  $V_1 = \sqrt{\frac{\mu_3}{r_1}}$ . Величины дополнительных разгонных скоростей зависят от круговой скорости  $V_1$  на первой круговой орбите и отношения  $k = \frac{r_2}{r_1}$  радиуса второй круговой орбиты к радиусу первой круговой орбиты. С учётом принятых обозначений величины  $\Delta V_1$  и  $\Delta V_2$  дополнительных разгонных скоростей в двухимпульсном

манёvre Гоман вычисляются по формулам [1]:  $\Delta V_1 = V_1 \left( \sqrt{\frac{2k}{k+1}} - 1 \right)$ ;  $\Delta V_2 = V_1 \frac{1}{\sqrt{k}} \left( 1 - \sqrt{\frac{2}{k+1}} \right)$ .

Для последующих расчётов важно знать отношение этих двух значений дополнительных разгонных скоростей, для определённости обозначим его символом:

$n = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = \frac{\sqrt{k} \left( \sqrt{2k} - \sqrt{k+1} \right)}{\sqrt{k+1} - \sqrt{2}}$ . В правой части рис.1 изображён эскизный вариант предлагаемой

вращающейся механической системы в исходной конфигурации. Система имеет конфигурацию равнобедренного треугольника  $ABE$ , в котором боковые стороны равны  $AE = BE$ . В вершинах равнобедренного треугольника  $ABE$  размещены три модуля в виде малых КА. При этом в вершинах  $A$  и  $B$  размещены одинаковые по массе модули, то есть  $m_A = m_B = m$ . В вершине  $E$  размещён модуль другой массы  $m_E$ . Точка  $C$  на высоте, биссектрисе и медиане  $ED$  является общим центром масс всей системы, то есть трёх точечных масс  $m_A$ ,

$m_B$ ,  $m_E$ . Для дальнейшего исследования важно определить расстояния  $CD$  и  $AD$ , а также более свободное с конструкторской точки зрения расстояние  $CE$ . Такая треугольная система малых КА выводится на круговую околоземную орбиту радиусом  $r_1 = R_3 + h_1$ , поэтому центр масс системы  $C$  будет иметь соответствующую этому радиусу круговую скорость  $V_1$ . Сначала надо устраниć механические связи  $AE$  и  $BE$  с целью сброса груза  $m_E$ . В новом состоянии система из двух малых КА вращается, поэтому обладает запасом кинетической энергии вращения, которая будет использована для второго разгонного импульса в манёвре Гомана. Будем предполагать, что на высокую круговую орбиту требуется вывести малый КА, расположенный в точке  $A$ . Величина добавочной разгонной скорости при втором импульсе равна линейной скорости движения точки  $A$ , то есть  $\Delta V_2 = \omega \cdot AD = \omega \cdot L_2$ . Точечная масса  $A$  увеличит высоту перигейного удаления до новой более высокой круговой орбиты за счёт линейной скорости вращения, согласованной с баллистическим требованием  $\Delta V_2 = V_1 \frac{1}{\sqrt{k}} \left( 1 - \sqrt{\frac{2}{k+1}} \right)$ .

Торможение двух точечных масс после разрыва механических связей в треугольной конфигурации в этой работе не изучается, но позволяет сформулировать гипотезу о возможности их удаления из околоземного пространства, чтобы не увеличивать численность осколков и объектов космического мусора [3,4]. Таким образом, теоретически обоснована общая эскизная схема крутящейся механической системы из трёх точечных масс, которая может маневрировать при орбитальном движении, например, увеличивая высоту круговой орбиты.

Список использованных источников:

- 1 Иванов Н.М., Лысенко Л.Н. Баллистика и навигация космических аппаратов. Учебное пособие. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана (НИУ), 2024. 529 с
- 2 Азяский Н.Ф. Праща / Большая Российская энциклопедия. 2004-2017. Режим доступа: [https://old.bigenc.ru/military\\_science/text/3174117](https://old.bigenc.ru/military_science/text/3174117) (дата обращения 21.10.25 г.).
- 3 Игуминова В.А. Проблема засорения космоса / В.А.Игуминова, А.Е.Карючина, Е.О.Реховская // Исследования молодых ученых : материалы IX Междунар. науч. конф. (г. Казань, апрель 2020 г.). Казань: Молодой ученый, 2020. С. 14-17. Режим доступа: <https://moluch.ru/conf/stud/archive/368/15725> (дата обращения 21.10.2025 г.).
- 4 Шустов Б.М. О фундаментальных исследованиях по проблеме космического мусора / Сборник трудов: Всероссийская научная конференция с международным участием «Космический мусор: фундаментальные и практические аспекты угрозы». М.: ИКИ РАН, 17–19 апреля 2019 г. С.7-14.

**Автоматизация оформления документов по ГОСТ 7.32-2017  
с помощью шаблона *modern-g7-32***  
**Елисеев Павел Александрович, Лисняк Александр Олегович**  
**Научный руководитель – Лийн Е.А.**

МАИ, Москва

Ключевые слова: Typst, автоматизация оформления, ГОСТ 7.32-2017, шаблоны документов, воспроизводимость оформления

Оформление научных и учебных работ в соответствии с ГОСТ 7.32-2017 [3] остаётся трудоёмкой и рутинной задачей. Большинство студентов, преподавателей и исследователей сталкиваются с однотипными проблемами: ручная настройка отступов, нумерации, подписей таблиц и рисунков, формирование оглавления, корректное оформление титульного листа и списка литературы. Используемые на практике инструменты либо устарели (Word не надёжен при работе с большими документами), либо требуют сложной конфигурации (LaTeX), что повышает порог входа.

Предлагаемое решение — шаблон **modern-g7-32** для системы разметки Typst. Typst является современным инструментом подготовки документов, ориентированным на высокую скорость компиляции и структурный подход к разметке. В основе Typst лежат идеи инкрементальной компиляции [1], которые позволяют системе быстро пересобирать документы без полного перерасчёта, а также строго определённая архитектура разметки, описанная в официальной документации [2]. Использование такой технологии позволяет устранить проблемы, характерные для традиционных офисных редакторов, и обеспечить воспроизводимость оформления.

Актуальность проекта связана с необходимостью создания инструмента, который гарантирует единообразие представления научных работ. Автоматизация оформления снижает вероятность ошибок, экономит время и минимизирует влияние человеческого фактора. Это особенно важно при подготовке отчётов по НИР, курсовых, лабораторных работ и других документов, где требуется строгое соответствие ГОСТ 7.32–2017 [3]. Благодаря использованию Typst оформление становится предсказуемым, а структура — однозначно определённой и легко расширяемой.

Предлагаемое решение реализует полный набор требований ГОСТ 7.32-2017:

1. **Автоматизированное формирование титульного листа.** Пользователю достаточно ввести ФИО, тему работы, кафедру и другие параметры — шаблон сам расставит все элементы в соответствии с нормативами.

2. **Структурирование документа.** Разделы, подразделы и пункты нумеруются автоматически; соблюдаются предписанные интервалы, отступы и правила расположения элементов.
3. **Корректное оформление таблиц, рисунков и подписей.** Шаблон автоматически задаёт формат подписей, нумерацию и положения объектов.
4. **Генерация оглавления и списка литературы.** Оглавление обновляется при компиляции, а список источников оформляется по установленным требованиям.
5. **Расширяемость и воспроизводимость.** Шаблон позволяет добавлять собственные стили и элементы, при этом общие требования ГОСТ сохраняются неизменными.

На текущем этапе шаблон полностью реализует базовые и расширенные требования ГОСТ 7.32-2017, включая автоматическое создание титульного листа, оформление структурных элементов и единообразие форматирования. Планируется дальнейшее развитие: добавление модулей для отчётов по лабораторным работам, интеграция расширенных инструментов по работе с источниками и создание визуального конфигуратора параметров.

**Список использованных источников:**

1. Fredrickson J. *Fast Typesetting with Incremental Compilation*. ResearchGate, 2022.
2. Typst Documentation. URL: <https://typst.app/docs/>
3. ГОСТ 7.32–2017. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

## **Технология SDR в задачах прототипирования цифровых устройств**

**Жало Андрей Евгеньевич**

Научный руководитель – Шмачилин П.А.

МАИ, Москва

Ключевые слова: программно-определенное радио (SDR), прототипирование, цифровая обработка сигналов, радиосвязь, импортозамещение

Технология программно-определенного радио (Software-Defined Radio, SDR) – это архитектура радиосистем, в которой традиционные аппаратные компоненты (такие как модуляторы, демодуляторы, фильтры) заменены программным обеспечением, выполненным на универсальных процессорах, цифровых сигнальных процессорах (ЦОС) или программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС).

Ключевая особенность данной технологии глубокая реконфигурируемость.

Функции обработки сигналов переносятся из аппаратной части в гибкую программную среду. Это позволяет одной аппаратной платформе, состоящей из радиочастотного тракта, аналого-цифровых преобразователей (АЦП/ЦАП) и вычислительного ядра, работать в различных частотных диапазонах, с разными типами модуляции и протоколами связи – от простого приёма FM-радио до реализации сложных стандартов, таких как LTE.

Эта технология стала базовым инструментом современного прототипирования цифровых устройств и систем связи, предоставляя инженерам гибкость и сокращение длительности цикла «идея – реализация – тестирование».

Открытость платформы позволяет изучать и экспериментировать с такими технологиями, как RFID, NFC, цифровая радиосвязь, спутниковые сигналы (ADS-B, метеоспутники), и даже с радиолокационными принципами.

Студенты могут использовать недорогие SDR-устройства для следующих целей:

1. Анализа и визуализации спектра сигналов в широком диапазоне – от FM-радио и телевидения до сигналов GSM, GPS, Wi-Fi (в зависимости от возможностей приемника).
2. Приема и декодирования цифровых данных со спутников – отслеживать самолеты по сигналам ADS-B, морские суда по AIS, получать изображения с метеорологических спутников (например, Метеор-М), принимать данные с любительских спутников и МКС.
3. Изучения основ радиосвязи и обработки сигналов – «вживую» наблюдать различные виды модуляции (AM, FM, SSB, BPSK, QPSK и др.), оценивать влияние фильтров и помех.
4. Исследования протоколов беспроводной связи – анализировать и декодировать сигналы протоколов LoRa, а также изучать принципы работы RFID-меток и NFC.
5. Изучения основы кибербезопасности беспроводных систем - в исследовательских целях изучать уязвимости простых протоколов (например, старых беспроводных дверных звонков, детских мониторов, брелоков), понимая важность шифрования.
6. Прототипирования и тестирования собственных алгоритмов связи – используя SDR-передатчики (например, HackRF One) и программное обеспечение (GNU Radio), создавать и отлаживать собственные системы цифровой модуляции/демодуляции, реализовывать простые радиопротоколы.

Таким образом, SDR из узкопрофессионального инструмента превращается в мощную образовательную платформу, которая позволяет студентам на практике, с минимальными затратами, погрузиться в мир беспроводных технологий, цифровой обработки сигналов и телекоммуникаций.

В настоящее время на рынке представлено более 130 решений различного уровня: от устройств, сделанных энтузиастами до профессиональных устройств, использующихся в

лабораториях. Данные решения отличаются по цене, производительности и целевой аудитории. Проведем обзор наиболее распространенных и доступных решений.

В ценовом сегменте до 5 000 рублей, можно выделить «RTL-SDR» – приемник для начинающих. Создан на основе телевизионных приемников с микросхемой Realtek RTL2832U. Работает в диапазоне от 24 МГц до 1.7 ГГц, полоса пропускания – до 3.2 МГц. Идеален для изучения основ радиомониторинга, приёма сигналов AM/FM, ADS-B и других

В ценовом сегменте от 5000 до 10000 рублей – SDRplay RSP, который имеет 12-битный АЦП и более широкую полосу пропускания (до 8 МГц).

Устройства стоимостью от 10000 до 20000 рублей, уже можно использовать и для передачи сигналов, например HackRF-One – устройство с открытым исходным кодом. Частотный диапазон (1 МГц – 6 ГГц), полоса пропускания 20 МГц, возможность как приёма, так и передачи (полудуплекс). Его открытость и обширное сообщество делают его идеальным для экспериментов, реверс-инжиниринга, тестирования безопасности и образовательных проектов. В декабре этого года начались продажи новой версии – HackRF Pro с улучшенными характеристиками и стабильностью.

Airsplay и LimeSDR – популярные модели, предлагающие различные компромиссы между количеством каналов, полосой и ценой.

BladeRF - устройство с полосой до 40 МГц и 12-битным АЦП. Стоимость начинается от 100000 рублей. Широко используется в разработке и тестировании мобильных и IoT-решений.

USRП (Universal Software Radio Peripheral) – является стандартом в научных исследованиях, оборонной промышленности и телекоммуникациях. Линейка включает модели от относительно доступных (B210, ~150000 рублей) до высокопроизводительных (X310, N320, цены стартуют от 400000 рублей), поддерживающих полосу пропускания до 160 МГц, многоканальность, синхронизацию по фазе и программируемые ПЛИС для реализации сложнейших алгоритмов в реальном времени.

Однако существуют китайские версии B210, клоны оригинальных устройств. Их стоимость в несколько раз ниже. Выполнены они на тех же комплектующих элементах, что и оригинальные версии. Отличия только в расположении нескольких элементов.

А что может предложить отечественный рынок? На сегодняшний день полный цикл производства SDR устройств в России отсутствует. Однако стоит отметить отечественную компанию ООО «Элрон» (ELRON), которая организовала выпуск устройств HackRF-One и FreeSRP (аналог USRP B200) на российской производственной базе – печатные платы, сборка, тестирование и прошивка. Элементная база пока остается импортной.

По заявлению производителя, контроль на всех этапах сборки позволяет добиться высоких показателей качества и стабильности работы устройств, что отличает эти устройства от аналогов, производимых азиатскими странами.

В таблице 1 приведено наглядное сравнение устройств разных классов.

Табл. 1 – Сравнение устройств разных классов

Модель	Диапазон частот, полоса пропускания	Ориентировочная стоимость (2025 г.)	Целевое применение
RTL-SDR	24 МГц – 1.7 ГГц, до 3.2 МГц	до 5 т.р.	Образование, радиолюбительство, начальный мониторинг.
SDRplay RSP	24 МГц – 1.7 ГГц, до 8 МГц	от 5 до 10 т.р.	Образование, радиолюбительство, начальный мониторинг.
<b>HackRF-One</b>	<b>1 МГц – 6 ГГц, 20 МГц</b>	от 10 до 20 т. р.	Разработка, исследование протоколов, тестирование безопасности.
<b>HackRF-One (Россия, «ЭЛРОН»)</b>	<b>1 МГц – 6 ГГц, 20 МГц</b>	24 т. р.	Разработка, исследование протоколов, тестирование безопасности.
<b>HackRF Pro</b>	<b>0.1 МГц – 6 ГГц, 20 МГц</b>	~ 65 т. р.	Разработка, исследование протоколов, тестирование безопасности.
FreeSRP (аналог USRP B200, Россия, «ЭЛРОН»)	70 МГц – 6 ГГц, 56 МГц	80 т.р.	Академические исследования, прототипирование систем связи.
<b>BladeRF</b>	<b>70 МГц – 6 ГГц, 40-56 МГц</b>	от 100 т.р.	Академические исследования, прототипирование систем связи.
B210 (китайская версия)	70 МГц – 6 ГГц, 40-56 МГц	~ 40 т.р.	Академические исследования, прототипирование систем связи.
B210	70 МГц – 6 ГГц, 40-56 МГц	~150т.р.	Академические исследования, прототипирование систем связи.
<b>USRP X310, N310</b>	<b>До 6 ГГц, 160-200 МГц</b>	от 400 т.р.	Исследование 5G/6G, радиолокация и космические системы.

Опыт компании «Элрон» показывает, что организовать производство успешных проектов с открытым исходным кодом (HackRF-One, FreeSRP) в России возможно. Однако ключевой зависимостью остается элементная база.

Основными компонентами современных SDR устройств являются АЦП/ЦАП (аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи), ПЛИС (Xilinx, Intel) и интегральные радиотрансиверы (AD9361 от Analog Devices). Производство таких компонентов в России в необходимых объёмах и с требуемыми характеристиками (ширина полосы, частота дискретизации, энергопотребление) сегодня остается технологическим вызовом. Отечественные аналоги либо отсутствуют, либо значительно уступают зарубежным.

В настоящее время Россия обладает компетенциями для адаптации, сборки и программирования SDR-платформ, а также для разработки специализированного ПО и

алгоритмов под них. Однако создание полноценного аналога западных высокопроизводительных SDR (типа USRP) на отечественной компонентной базе в ближайшей перспективе маловероятно. Реалистичным путём развития видится коопeração: использование доступной элементной базы, для производства проверенных платформ (например HackRF-One) параллельно с разработкой и освоением производства ключевых радиочастотных и цифровых микросхем.

SDR является базовым инструментом разработки беспроводных систем, предоставляя доступ к работе с радиосигналами. Студенты с помощью SDR-устройств стоимостью до 10 т.р., могут проводить у себя дома эксперименты, которые раньше требовали дорогостоящего оборудования и лабораторий. Организации же могут значительно ускорять разработку телекоммуникационного оборудования.

В России SDR приобретает особое значение как инструмент для импортозамещающей разработки, образования и исследований. Наличие серийного производства, образовательных курсов и компаний-интеграторов формирует стартовую экосистему для развития этого направления.

Успех будет зависеть от поддержки как open-source решений, так и государственных программ по развитию микроэлектроники – основы современных радиоэлектронных устройств.

Список использованных источников:

1. Костин М.С., Полевода Ю.А., Коняшкин Г.В. Архитектурно-конфигурируемые SDR – технологии встраиваемых систем радиосвязи: учебник / под ред. профессора Г.В. Куликова. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2025. – 188 с.
2. Платы SDR Hack RF One производство Россия, ООО «ЭЛРОН» - [Электронный ресурс] – URL: <https://elron.tech/russian-hack-rf-one/> (дата обращения: 08.12.2025).
3. Ettus Research (USRP) – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.ettus.com/> (дата обращения: 08.12.2025).
4. List of software-defined radios – [Электронный ресурс] – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_software-defined\\_radios](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_software-defined_radios) (дата обращения: 08.12.2025).

**Оценка эффективности повышения усталостной прочности алюминиевого сплава  
АК4-1 методом лазерной ударной обработки**  
**Забенько Евгений Владимирович, Токачев Данила Александрович,  
Шкарина Ксения Петровна**  
**Научные руководители- Ляховецкий М.А., Королев Д.Д.**  
**МАИ, Москва**

**Ключевые слова:** Лазерная ударная обработка, остаточные напряжения, усталостные испытания, алюминиевый сплав АК4-1

Обеспечение высокой надёжности и долговечности компонентов авиационных двигателей — одна из ключевых задач при их проектировании и изготовлении. На эти параметры существенно влияет усталостная прочность конструкционных материалов, определяемая как технологической наследственностью, так и условиями эксплуатации — в частности, механическими повреждениями, коррозионным воздействием и другими факторами [1].

В современной отечественной промышленности для повышения усталостной прочности деталей широко применяются методы поверхностного пластического деформирования, такие как дробеструйная обработка, ультразвуковое упрочнение шариками и др. [2]. Принцип их действия заключается в формировании сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое за счёт локальной пластической деформации, что благоприятно сказывается на усталостном ресурсе конструкционных элементов. Вместе с тем эффективность данных методов ограничена малой глубиной залегания остаточных напряжений, а контактный характер обработки может привести к ухудшению шероховатости, переносу материала либо повреждению тонкостенных участков.

В качестве альтернативы рассматривается лазерная ударная обработка (ЛУО), основанная на воздействии наносекундного лазерного импульса на обрабатываемую поверхность, покрытую поглощающим слоем и ограниченную прозрачной средой. Возникающая при этом ударная волна распространяется вглубь материала, вызывая пластическую деформацию приповерхностных слоёв и формируя сжимающие остаточные напряжения значительной глубины без прямого механического контакта. Это исключает риск повреждения поверхности и позволяет сохранить её исходное качество. Таким образом, ЛУО представляет собой контролируемый и высокоэффективный способ повышения усталостной прочности деталей, особенно в условиях повышенных требований к надёжности и ресурсу ответственных конструкций [3].

В настоящей работе исследованы режимы лазерной ударной обработки и их влияние на параметры качества поверхностного слоя и усталостные характеристики алюминиевого сплава АК4-1: включая отклонение профиля поверхности, распределение микротвёрдости по

глубине, степень наклёпа и усталостную долговечность. В качестве абляционного покрытия использовалась ПВХ-лента. Энергия лазерного импульса варьировалась от 300 до 850 мДж, диаметр пятна составлял 1,1 мм, длительность импульса — 18 нс.

Установлено, что максимальное отклонение профиля поверхности достигает 17 мкм, наибольшая степень наклёпа — 13,5 %, максимальная глубина упрочнённого слоя — 800 мкм, а наибольший прирост усталостной долговечности по сравнению с неупрочнённым образцом составляет 261 %.

Работа выполнена в рамках гранта Госзадания FSFF-2023-0006

#### Список использованных источников

1. Петухов, А. Н. Сопротивление усталости деталей ГТД / А. Н. Петухов. – М: Машиностроение, – 1993. – 240 с.
2. Коновалов, Д. И. Метод ультразвукового упрочнения поверхностей узлов и деталей авиационных газотурбинных двигателей как одна из перспективных технологий в авиастроении / Д. И. Коновалов, Г. Г. Ширванъянц. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 22 (102). — С. 141-147.
3. Влияние режимов лазерной ударной обработки алюминиевого сплава Д16 на степень наклепа и величину остаточных напряжений поверхностного слоя / Д. Д. Королев, Г. Д. Кожевников, Д. А. Токачев, М. А. Ляховецкий // Авиация и космонавтика : тезисы 21ой международной конференции, Москва, 21–25 ноября 2022 года / Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – Москва: Издательство "Перо", 2022. – С. 130-132.

#### **Сpirаль Фибоначчи как альтернатива традиционным сеткам размещения излучателей фазированных антенных решёток**

**Зайцев Кирилл Сергеевич**

Научный руководитель – Терёхин О.В.

МАИ, Москва

Ключевые слова: фазированная антenna решетка (ФАР), спираль Фибоначчи, размещение излучателей, апериодическая ФАР, диаграммообразование, сверхширокополосность

ФАР, включая активные (АФАР), являются одними из наиболее перспективных антенных систем современности. Они находят применение в базовых станциях мобильной связи 4G/5G, спутниковой связи и других телекоммуникационных системах, радиолокационных станциях истребителей, системах РТР, РЭБ и т.д. [1].

В существующих системах в основном используются регулярные сетки расположения излучателей – прямоугольная и треугольная. Во избежание появления дифракционных

лепестков (рис. 1) при использовании периодических сеток требуется максимально плотная упаковка элементов. При повышении частоты также возникают дифракционные лепестки, что дополнительно ограничивает полосу рабочих частот.

Для устранения указанных недостатков применяют неэквидистантное расположение излучателей [2,3]. Большинство известных работ посвящено решению частных задач оптимизации, либо же представляет большую сложность в изготовлении, оптимизации и т.д. Мы предлагаем универсальное решение – спираль Фибоначчи, основанную на золотом сечении [4]. Например, на круглой плоской апертуре элементы располагаются по закону:

$$\varphi_i = \frac{2\pi i}{\Phi}, r_i = r_0 \sqrt{\frac{i+0.5}{N}},$$

где  $(r_i, \varphi_i)$  – положение  $i$ -го излучателя (смещение на 0.5 добавлено для устранения сингулярности),  $r_0$  – радиус апертуры,  $N$  – число элементов  $\Phi$  – угол золотого сечения:

$$\Phi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}.$$

Преимуществом спирали Фибоначчи является максимизация минимального расстояния между элементами, что гарантирует размещение всех излучателей. Сетка задается однозначно, что исключает неэффективные поисковые алгоритмы при проектировании. Элементы распределяются по поверхности квазиравномерно.

Важным свойством является универсальность подхода: распределение элементов по спирали Фибоначчи может быть применено не только для различных плоских ФАР, но и для выпуклых ФАР посредством отображения распределения на нужную поверхность.

Проведен аналитический расчет множителей плоских ФАР с прямоугольной, треугольной сетками расположения элементов и спиралью Фибоначчи (рис. 1).

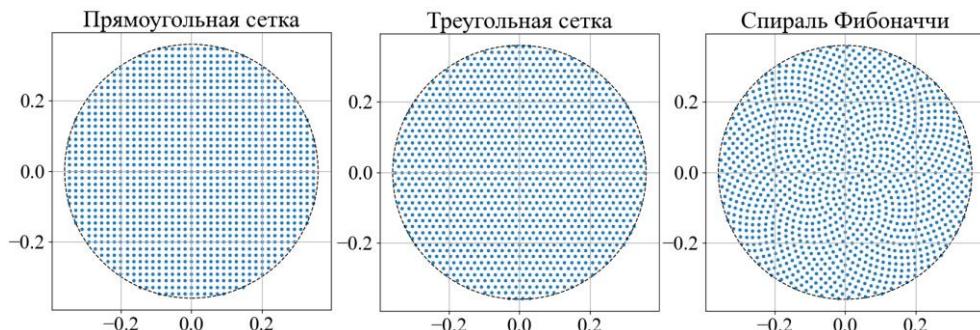


Рис.1 – Распределение излучателей в апертуре для разных сеток

Параметры расчета: число элементов 1213 – 1217 (рис. 2), радиус апертуры 72 см, частота 10 ГГц. На рис. 2 и далее представлены аналитически рассчитанные множители решётки для вертикальной плоскости при угле сканирования  $70^\circ$ . В отличие от прямоугольной и треугольной сеток, у сетки Фибоначчи отсутствует дифракционный максимум, а уровень побочного излучения не превышает уровень первого бокового лепестка.

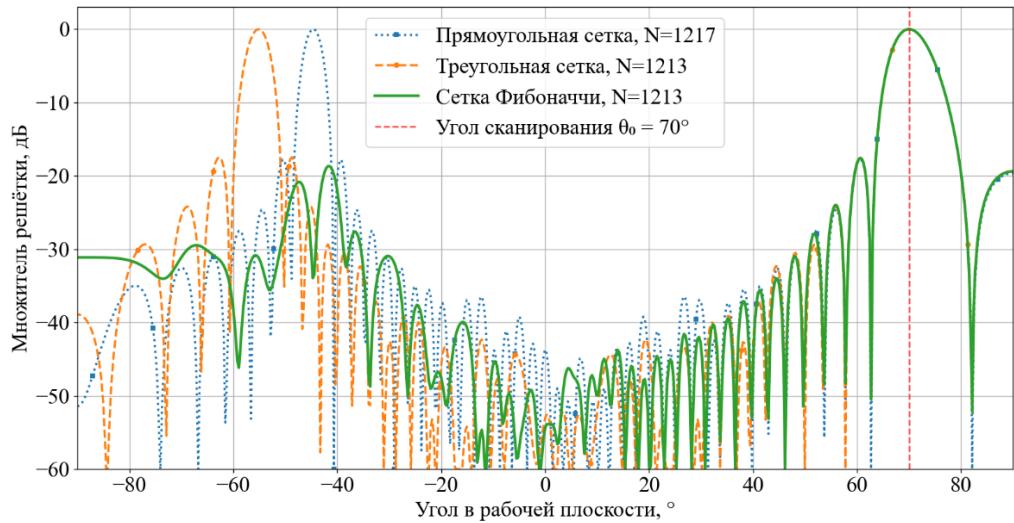


Рис.2 – Сравнение множителей решёток при равном числе элементов

При этом ДН ФАР Фибоначчи сохраняет возможности сканирования в максимальном секторе углов, и при этом, в отличие от регулярных сеток ФАР, по всех плоскостях.

Продемонстрирована возможность минимизации числа элементов (рис. 3). Несмотря на возросший уровень побочного излучения, он не превышает уровень первого побочного максимума, что подтверждает теоретическую возможность кратного сокращения числа излучателей.

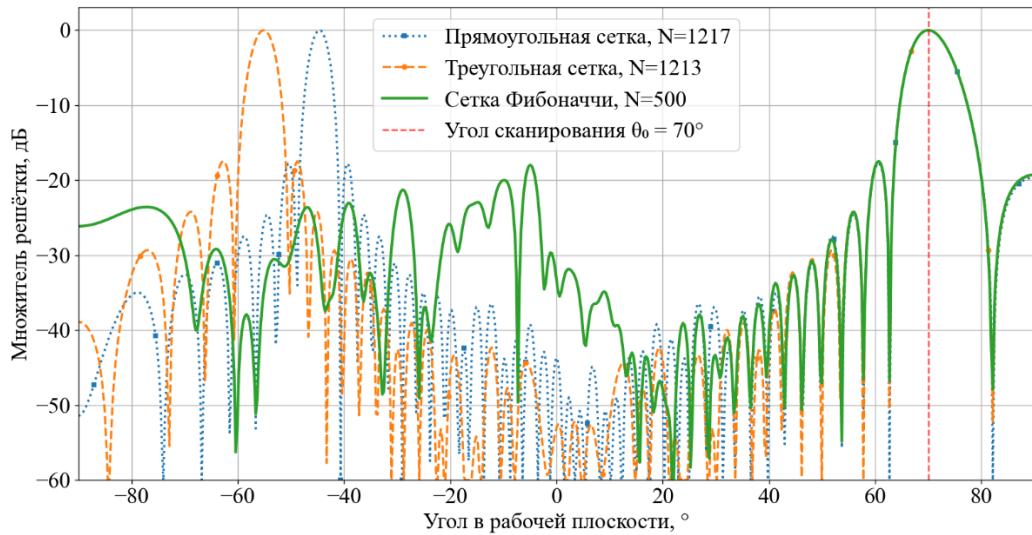


Рис. 3 – Демонстрация минимизации числа элементов ФАР Фибоначчи

Исследована широкополосность: на частоте 50 ГГц у регулярных сеток наблюдается множество дифракционных максимумов, в то время как у ФАР Фибоначчи они отсутствуют (рис. 4), хотя чисто элементов  $N = 500$  в десятки раз меньше теоретически оптимальных на апертуре  $R = 36$  см  $N = 35000+$  элементов. Уровень побочного излучения также не превышает уровень первого бокового лепестка.

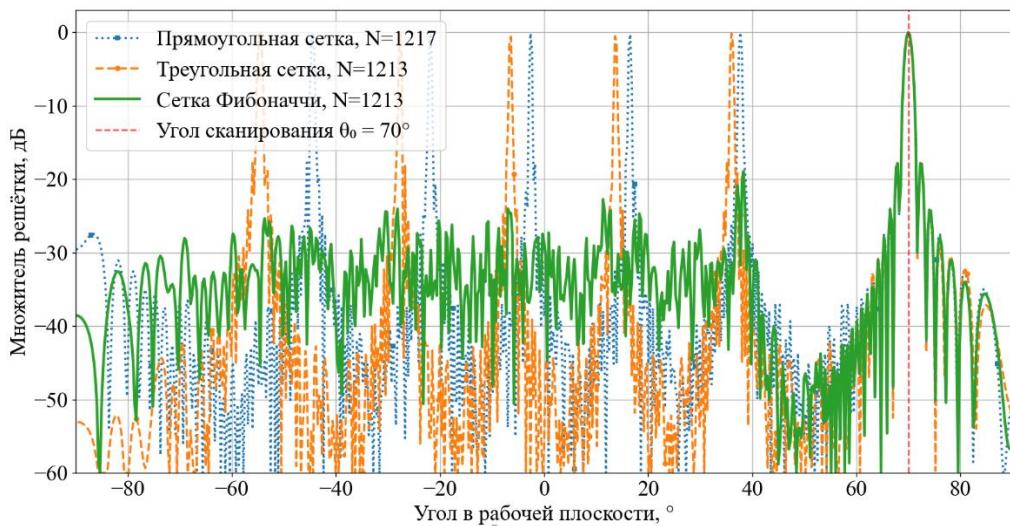


Рис. 4 – Демонстрация сверхширокополосности ФАР Фибоначчи

Таким образом, можно выделить следующие теоретические преимущества спиралей Фибоначчи: возможность сокращения числа элементов в разы; упрощение компоновки аппаратуры; снижение требований к габаритам излучателей, фазовращателей, ППМ; сверхширокополосность – основа антенных систем будущего; максимальный сектор сканирования при меньшем числе элементов; широкоугольное сканирование без «мертвых зон»; максимизация минимального расстояния между элементами; универсальность для плоских и выпуклых ФАР; однозначность задания сетки в отличие от других нерегулярных решений; снижение энергопотребления; улучшенные массогабаритные показатели системы.

Список использованных источников:

1. Шишлов А.В., Денисенко В.В., Левитан Б.А., Топчиев С.А., Шитиков А.М. Активные фазированные антенные решетки – состояние и тенденции развития. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. – 2023. – № 1. – URL: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.1.5> (дата обращения 20.11.2025 г.)
2. Федосеева Е. В. Исследование метода синтеза неэквидистантной равноамплитудной антенной решетки / Е. В. Федосеева, А. А. Тарасов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2011. – № 3. – С. 4–8.
3. Легкий Н. М. Выбор расположения излучателей в неэквидистантной антенной решетке / Н. М. Легкий, Н. В. Михеев // Российский технологический журнал. – 2020. – Т. 8, № 6. – С. 54–62.
4. Vogel, H. A better way to construct the sunflower head / H. Vogel // Mathematical Biosciences. – 1979. – Vol. 44, No. 3–4. – P. 179–189.

**Десктопный ИИ-ассистент для диагностики и управления персональным компьютером**  
**Зайцева Арина Евгеньевна**  
**Научный руководитель – Ванцов С.В.**  
**МАИ, Москва**

**Ключевые слова:** интеллектуальные системы, автоматическая диагностика, управление ПК, компьютерная безопасность, оптимизация производительности, ИИ ассистент.

Современные персональные компьютеры становятся всё более сложными системами, объединяющими аппаратные компоненты, множество сервисов и большое количество пользовательского программного обеспечения. Вместе с усложнением архитектуры возрастают количество технических проблем, связанных с производительностью, стабильностью и безопасностью [1,2]. Пользователи часто сталкиваются с необходимостью самостоятельно интерпретировать сообщения об ошибках, контролировать состояние устройств, искать неисправности и поддерживать оптимальную работу системы. Это требует определённой технической грамотности, которой обладает не каждый.

В условиях широкой доступности моделей искусственного интеллекта появилась возможность автоматизировать эти рутинные процессы и предоставить пользователю инструмент, способный выполнять диагностику компьютера в интерактивном режиме, объяснять проблемы понятным языком и предлагать оптимальные способы их решения [3].

Автоматизация технической поддержки домашних и офисных персональных компьютеров становится особенно востребованной по двум причинам. Во-первых, растёт нагрузка на устройства из-за перехода к удалённым форматам работы, высокой зависимости от цифровых инструментов и постоянного сочетания различных задач на одном рабочем месте. Во-вторых, пользователи ожидают мгновенной и понятной обратной связи от своих устройств: им важно не только устраниить неполадки, но и понимать, почему они возникли.

Существующие решения – встроенные средства Windows, антивирусы, отдельные утилиты мониторинга – работают разрозненно и не предоставляют единой интеллектуальной системы, способной анализировать состояние устройства комплексно и адаптироваться под конкретного пользователя. Поэтому идея создания ассистента с искусственным интеллектом (ИИ-ассистента), объединяющего диагностику, управление и обучающую функцию, является своевременной и практически значимой [4,5].

Целью работы является разработка десктопного ИИ-ассистента, способного выполнять диагностику персонального компьютера, анализировать полученные данные и предоставлять пользователю рекомендации по устранению обнаруженных проблем, а также обеспечивать возможность управления рядом системных функций.

Разрабатываемый десктопный ИИ-ассистент ориентирован на локальную работу и не предполагает постоянной передачи пользовательских данных на внешние серверы, что позволяет значительно повысить уровень приватности и исключить риски несанкционированного распространения конфиденциальной информации. Одним из ключевых принципов разработки является внедрение строгой модели разрешений, аналогичной механизму доступа мобильных операционных систем iOS: каждое действие, связанное с чтением файлов, анализом журналов или доступом к системным данным, выполняется только после явного согласия пользователя. Такой подход обеспечивает прозрачность процессов и предотвращает возможность неконтролируемого вмешательства в работу устройства.

Функциональность ассистента включает несколько основных направлений. Во-первых, это интеллектуальный анализ состояния системы: сбор сведений о конфигурации оборудования, мониторинг загрузки ресурсов, выявление потенциальных узких мест и предсказание вероятных сбоев. Во-вторых, ассистент способен интерпретировать системные сообщения, анализировать логи и представлять техническую информацию в доступной форме. Это особенно важно для пользователей, не обладающих достаточной технической подготовкой. В-третьих, система может выполнять семантический поиск по локальным данным, позволяя находить файлы по содержанию, приблизительной дате или другим контекстным признакам.

В отличие от существующих утилит диагностики, которые ограничиваются фиксированным набором функций и механизмов проверки, разработанный ассистент использует гибридную архитектуру, основанную на сочетании аналитических алгоритмов, локальной базы знаний и механизма прогнозирования. Ещё одной отличительной особенностью является отказ от каких-либо автоматических действий: ассистент не вносит изменений в конфигурацию системы, не удаляет файлы и не производит манипуляций без участия пользователя. Его роль — консультативная и аналитическая, что существенно снижает риски повреждения системы и делает работу искусственного интеллекта предсказуемой.

Методологический подход к разработке включает анализ существующих средств диагностики, формализацию требований на основе типичных пользовательских сценариев, проектирование архитектуры системы и определение ограничений, связанных с безопасностью и производительностью. Особое внимание уделяется вопросам интерпретируемости и надёжности: система должна не только выдавать рекомендации, но и обосновывать их, что позволяет пользователю понимать природу выявленной проблемы и принимать осознанное решение.

Ожидается, что использование предлагаемого ИИ-ассистента позволит снизить время диагностики распространённых проблем ПК, уменьшить нагрузку на службы технической поддержки и повысить уровень безопасности за счёт применения системы разрешений и ограничений. Кроме того, локальная обработка данных обеспечивает сохранность пользовательской информации, что особенно актуально в условиях роста требований к конфиденциальности и автономности цифровых систем.

Список использованных источников:

1. Алексашенко Н. Д., Зуфарова А. С. Искусственный интеллект в информационной безопасности // ТОГУ-СТАРТ: фундаментальные и прикладные исследования молодых: материалы региональной научно-практической конференции, Хабаровск, 12–16 апреля 2022 г. / редкол.: Е. Г. Аргаова [и др.]. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2022. С. 218–225.
2. Барыбин Б. О., Гребенников В. В. Анализ угроз и стратегий защиты в условиях цифровой трансформации // Современные информационные технологии и информационная безопасность: сборник научных статей 4-й Всероссийской научно-технической конференции. Курск, 2025 / ЗАО «Университетская книга». Курск, 2025. С. 44–48.
3. Пурышев А. А. Роль искусственного интеллекта в обществе // Глобализация и национальная безопасность: человек и общество в меняющемся мире. Двадцать вторые Вавиловские чтения: материалы международной междисциплинарной научной конференции. Йошкар-Ола, 06–07 декабря 2018 г. Т. 1 / под общ. ред. В. И. Шаповалова. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2019. С. 106–107.
4. Рязанов А. А. Искусственный интеллект в качестве персонального помощника // Актуальные вопросы развития современной цифровой среды: сборник статей по материалам научно-технической конференции молодых ученых. Волгоград, 2021 / ИП Чернева Ю. И.; Издательский дом «Сириус». Волгоград, 2021. С. 435–439.
5. Шелегов Г. С. Виртуальный ассистент для военного обучения и информационного обслуживания // XIX научно-практическая конференция операторов научных рот: сборник статей научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2024 / Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова. Санкт-Петербург: Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, 2024. С. 75–78.

## Применение БПЛА в решении задач противопожарной защиты

Земсков Петр Андреевич

Научный руководитель – Баранов А.М.

МАИ, Москва

Ключевые слова: БПЛА, МЧС, Электроника, Lora, ESP32, Противопожарная защита

В современном мире беспилотные летательные аппараты имеют большую перспективу использования в разных сферах деятельности человека. С каждым годом появляется всё больше и больше факторов риска возникновения пожаров на производственных предприятиях, в жилых помещениях, на складах и в общественных зданиях. Основными причинами возникновения пожаров являются: человеческая неосторожность, неисправность электрооборудования и приборов, неисправность газового или отопительного оборудования, нарушение правил эксплуатации приборов и природные катаклизмы [1].

Перспектива использования БПЛА в противопожарной сфере обусловлена увеличением очага локализации пожара и высокими рисками для человеческой жизни. Традиционные методы разведки и мониторинга, связанные с использованием вертолётов-разведчиков или человеческого ресурса, имеют ряд значительных недостатков: высокая стоимость, риски для экипажа, низкая оперативность получения и передачи данных, невозможность работы в условиях сильного задымления или в ночное время. В связи с этим использование БПЛА является одним из наиболее эффективных путей решения [2]. Беспилотники предоставляют возможность быстро и эффективно собирать информацию о локализации и масштабе возгорания на больших территориях, предотвращать и анализировать риски пожара, устраниить очаги возгорания безопасно для человека [3].

Целями научного исследования являются разработка и научное обоснование применения БПЛА в противопожарной деятельности. В рамках исследования была подобрана компонентная база, спроектирована 3D модель и разработана система акустического оповещения для мультироторного БПЛА.

Компонентная база включает в себя поддержку модулей GNSS, использование тепловизоров для обнаружения очагов возгорания; на электродвигатели устанавливаются проблесковые маячки для лучшего обнаружения БПЛА в темноте, для улучшения видимости оператором рабочей зоны используется мощный прожектор. Конструкторские особенности БПЛА определялись с учётом его работы. Для улучшения грузоподъёмности, стабильности полёта и повышения отказоустойчивости было принято решение использовать гексакоптерную систему. Дизайн беспилотника был подобран с учётом стилистики МЧС.

Также была разработана система свето-акустического оповещения. Её принцип заключается в дистанционной передаче пакетов данных на дальность до 5 км с помощью

систем связи. Оператор отправляет готовую голосовую запись с информацией об эвакуации на БПЛА. Запись воспроизводится и информирует людей. В будущем планируется поддержка передачи информации в режиме прямого эфира.

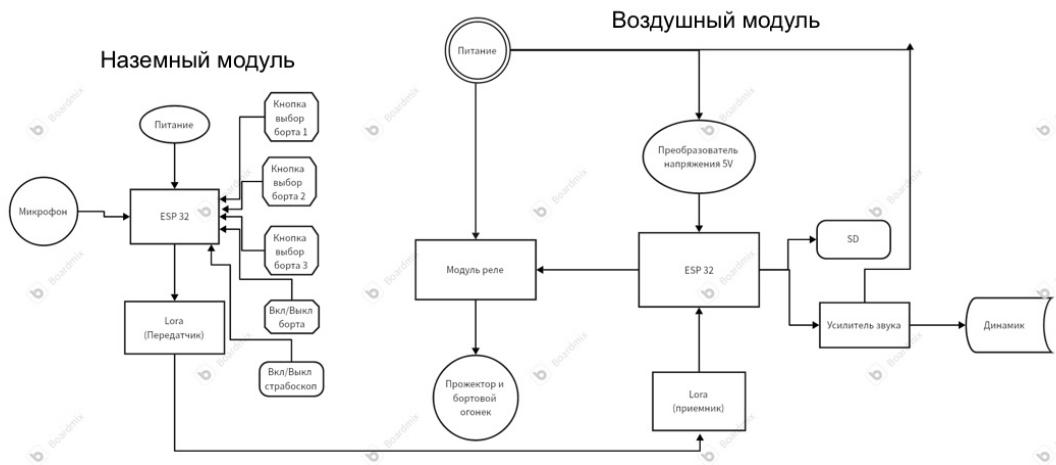


Рис. 1. Схема системы свето-акустического оповещения

Исследование подтверждает высокую востребованность БПЛА в сфере противопожарной защиты. Предлагаемые решения имеют выраженную прикладную ценность и потенциал для внедрения, так как направлены на преодоление конкретных недостатков традиционных методов работы и способствуют переходу к беспилотным системам обеспечения пожарной безопасности.

Список использованных источников:

1. Птицын, В. В. Особенности использования БПЛА для обеспечения пожарной безопасности высотных зданий / В. В. Птицын // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 8. – С. 173-177. – DOI 10.24412/2071-6168-2025-8-173-174.
2. Применение БПЛА и квалификационных операторов в пожарной безопасности / К. Р. Имайкин, О. С. Новикова, А. А. Исаев, К. М. Неугодников // Научные исследования молодых ученых : Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Пенза, 17 декабря 2020 года. Том Часть 1. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. – С. 82-84.
3. Распотнюк, Д. С. Значимость интеграции БПЛА в практику служб пожарной безопасности / Д. С. Распотнюк // Концептуальные пути развития гуманитарных и социальных наук : сборник материалов XXXIV-ой международной очно-заочной научно-практической конференции, Москва, 30 сентября 2023 года. – Москва: НИЦ «Империя», 2023. – С. 127-129.

**Разработка автоматизированной обучающей системы для изучения матричных методов принятия решений**  
**Кадыков Иван Дмитриевич**  
Научный руководитель – Бродский А.В.  
МАИ, Москва

Ключевые слова: автоматизированная обучающая система, методы принятия решений, матричные методы, сравнительный анализ решений, формализация задачи, образовательные технологии

В подготовке инженерных и ИТ-специалистов важно развивать навыки системного анализа и принятия решений, что требует не только теории, но и практической работы с наглядными программными инструментами. Традиционные системы управления обучением (LMS) недостаточно гибкие для узкоспециализированных дисциплин, а профессиональные системы поддержки принятия решений избыточны и ориентированы на получение результата, а не на демонстрацию процесса.

**Целью данной работы** является разработка автоматизированной обучающей системы (АОС МПР) для интерактивного изучения матричных методов принятия решений с акцентом на формирование навыков формализации задач и сравнительного анализа различных подходов к их решению.

**Постановка задачи.** Отправной точкой для разработки послужил анализ системы-прототипа. Его ключевой проблемой был сценарий «Матрица → Задача → Решение»: система требовала от студента сначала заполнить абстрактную матрицу, что снимало с него задачу самостоятельной формализации проблемы. В реальной практике процесс противоположен: от задачи — к данным и их структурированию. Кроме того, прототип не позволял сохранять и сравнивать решения, полученные разными методами.

На основе выявленных недостатков были сформулированы следующие задачи разработки АОС МПР:

- реализовать методологически корректный сценарий «Задача → Матрица → Решение»;
- создать инструмент для сравнения решений, полученных разными методами;
- улучшить организацию данных за счёт группировки альтернатив и критериев.

**Методология и архитектурные решения**

Ключевым изменением стала смена базовой логики работы обучающегося: в системе реализован проблемно-ориентированный сценарий «Задача → Матрица → Решение», который заставляет сначала сосредоточиться на постановке задачи, а уже затем переходить к расчётам. На рис. 1 схематично показан общий алгоритм работы в АОС МПР.

Общий алгоритм включает следующие шаги:

1. **Формализация задачи.** Студент формулирует проблему, создаёт логическую группу и выбирает альтернативы и критерии оценки.
2. **Формирование матрицы.** На основе выбранных сущностей система автоматически генерирует матрицу оценок, которую пользователь заполняет вручную или импортирует данные из файла.
3. **Формулирование предпочтений лица, принимающего решение.** Задаются ограничения по критериям, выделяются приоритеты и выбирается набор методов решения; эти настройки сохраняются с задачей и далее учитываются при интерпретации и сравнении результатов.
4. **Применение методов решения.** Студент последовательно применяет различные методы, а система показывает промежуточные результаты, что позволяет проследить ход вычислений.
5. **Сравнительный анализ.** Сохранённые решения выводятся в едином интерфейсе, что позволяет наглядно сопоставить итоги работы методов и проанализировать причины расхождений.

Такая последовательность соответствует реальному процессу принятия решений и способствует развитию у обучающихся навыков системного анализа и корректной формализации проблем.

#### **Функциональные возможности системы**

Для упорядочивания данных введена система группировки альтернатив и свойств: пользователь может создавать логические группы (например, «Самолёты», «Автомобили») и внутри них определять соответствующие сущности. Реализованы инструменты поиска и сортировки, что упрощает работу с увеличивающимся объёмом информации в учебном процессе.

Проблемно-ориентированный модуль постановки задачи обеспечивает переход от текстового описания к формальным объектам: студент задаёт формулировку проблемы, выбирает из созданных групп нужные альтернативы и критерии, а система автоматически контролирует целостность конфигурации.

Интерактивный модуль решения и сравнительного анализа является ключевым элементом АОС МПР. Процесс решения организован пошагово: для каждого метода система показывает промежуточные результаты (например, нормализованную матрицу), что помогает лучше понять ход вычислений. Принципиально важной возможностью является сохранение нескольких решений для одной и той же задачи. Все полученные решения отображаются в

едином интерфейсе, что даёт студенту удобный инструмент для сравнительного анализа и позволяет увидеть, как меняется итоговый выбор при использовании разных решающих правил.

В результате работы создан программный комплекс, выполняющий роль интерактивной учебной лаборатории по матричным методам принятия решений. Его архитектура и функциональные возможности поддерживают полный образовательный цикл: от формализации проблемы и настройки предпочтений до анализа и сопоставления полученных решений. Инструменты пошагового решения и сравнительного анализа способствуют формированию у студентов не только практических навыков работы с методами, но и более глубокого, системного понимания их особенностей. Приоритетным направлением дальнейшего развития системы является создание модуля преподавателя для организации заданий, контроля прогресса и интеграции АОС МПР в учебный процесс.

Список использованных источников:

1. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах. М., 2000.
2. Ларичев О. И. Наука и искусство принятия решений. М., 1979.
3. Бродский А. В. Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Методы синтеза оптимальных проектных решений».
4. Трайнев В. А., Трайнев И. В. Информационные коммуникационные педагогические технологии (обобщения и рекомендации): учебное пособие. 3-е изд. М.: Дашков и К°, 2012.

### **Высотные привязные аэростатические платформы для мониторинга Северного морского пути**

**Каучакова Марина Андреевна**

Научный руководитель – Батраков А.С.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, Казань

Ключевые слова: высотная аэростатическая платформа, привязной стратостат, мониторинг Северного морского пути, навигация, передача данных, дистанционное зондирование.

На сегодняшней день мониторинг ледовой обстановки СМП сталкивается с рядом трудностей, среди которых недостаточный охват акватории СМП современными системами наблюдения, ввиду слабой развитости группировок высокоэллиптических спутников [1, с. 7], в результате чего отсутствует целостная картина состояния ледовой и экологической

обстановки по всему пути, а также ограниченные возможности спутниковых систем по покрытию и разрешению в арктических условиях, особенно в периоды плохой видимости и полярной ночи. Таким образом, перспективы применения ПАП обусловлены необходимостью в улучшении текущего состояния по мониторингу СМП. Их использование позволит решить проблему недостатка данных по состоянию ледового покрова и экологической обстановке за счет длительного (в течение недель или месяцев) нахождения в заданной точке на высотах 18-22 км. ПАП может нести многоспектральную оптическую и радиолокационную аппаратуру для мониторинга льда, метеорологическое оборудование, а также средства ретрансляции связи. Это обеспечит высокоскоростную передачу данных и оперативное обнаружение инцидентов на море (столкновение кораблей, ледовый затор, разлив нефти и др.).

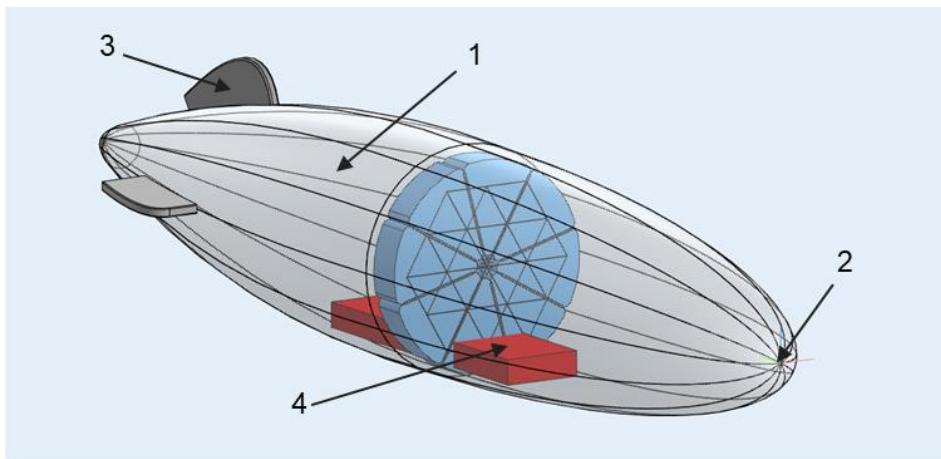
Внешний вид и конструктивные особенности ПАП во многом определяются суровыми эксплуатационными условиями Арктики. Из анализа метеорологических особенностей региона следует, что на ПАП будут действовать значительные ветра, с порывами до 106 м/с [2, с. 16]. Поэтому для минимизации лобового сопротивления и, следовательно, горизонтального сноса необходимо выбирать эллипсоидную форму с удлинением  $\lambda=3,5$ , обеспечивающим минимальное значение коэффициента лобового сопротивления, на основании рекомендаций [3, с. 15].

Для удержания ПАП в стратосфере над заданной точкой предполагается использование комбинированного трос-кабеля. Оценочный расчет веса троса производился исходя из методики определения его длины по формулами, представленными в [4] и его диаметра из расчета по методу допускаемых напряжений с учетом динамичности ветровой нагрузки. Тогда при использовании в качестве материала троса Zylon HM (PBO) (плотность 1560 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности 5,8 ГПа [5, с. 3]) его масса составит 970 кг при длине 22 км и диаметре 6 мм. При максимальной взлетной массе аэростатической платформы порядка 25000 масса троса составит 3,9% от ее массы, что является допустимым параметром. Трос будет выполнять три функции:

1. Фиксация: предотвращение сноса ввиду действия штормовых ветров и других возмущений атмосферы.
2. Энергоснабжение: передача электроэнергии при наступлении полярной ночи или при отказе солнечных батарей в светлое время.
3. Передача данных: обеспечение высокоскоростного канала связи с землей.

Для обеспечения устойчивости и управляемости ПАП будет оборудована стабилизатором с рулем высоты и килем с рулем направления. Для обеспечения энергопитания в светлое время установлена гибкая солнечная батарея на всей верхней

поверхности оболочки. В нижнюю часть интегрирован блок с размещенной в нем полезной нагрузкой и оборудованием. Конструкция газового отсека включает систему герметичных баллонетов (кессонов), разделенных гибкими мембранными. Насосы позволяют перекачивать подъемный газ между баллонетами для управления балансировкой и сохранением плавучести в случае частичной разгерметизации при повреждении внешней оболочки (рис. 1).



1 – полотно дирижабля; 2 – ферменные конструкции; 3 – органы управления; 4 – бортовое оборудование и полезная нагрузка

Рис. 1. Общий внешний вид аэростатической платформы.

#### Основные преимущества ПАП:

1. Низкая стоимость по сравнению с запуском и обеспечением работы орбитальных спутников. Стоимость выведения 1 кг полезной нагрузки на орбиту часто превышает 5 000 долларов [6], тогда как наполнение гелием и запуск ПАП существенно дешевле (затраты сводятся к стоимости гелия, материалов оболочки и техническим операциям на земле).
2. Быстрая мобильность и возможность оперативного развертывания в нужной географической точке.
3. Высокая разрешающая способность датчиков и улучшенная связь вследствие близости к Земле. Сближение с земной поверхностью обеспечивает значительно меньшую задержку передачи данных и возможность использования сенсорных систем с улучшенным пространственным разрешением [7, с. 735].
4. Гибкость в обновлении и замене оборудования без затрат на покидание орбиты. При возникновении технических неисправностей или необходимости модернизации часть оборудования может быть заменена в рамках спуска и подъема ПАП, что снижает затраты в несколько раз по сравнению с ремонтом спутников.

Таким образом, ПАП обладают значительным потенциалом для совершенствования мониторинга и управления арктической навигацией. Их внедрение может существенно

способствовать развитию инфраструктуры Северного морского пути и повышению экологической безопасности региона.

Список использованных источников:

1. Северный морской путь: технологические вызовы / подготовлен экспертным проектом N. Trans Lab. — 2023. — 13 с. — URL: <https://ntranslab.ru/upload/iblock/754/uyw4uts2qe3t1g9e9vrfhfokow2iwp1i.pdf> (дата обращения: 19.10.2025).
2. Ветер. Пространственное и временное распределение: ГОСТ 24728-81: введ. 1982-01-01 / Гос. ком. СССР по стандартам. — Взамен ГОСТ 24728-74. — Москва: Издательство стандартов, 1981. — 34 с.
3. Федяевский К.К. Материалы по аэродинамическому расчету воздушных кораблей Ч. 1- / К.К. Федяевский; [Предисл.: Г. Сабинин]. — Москва: Гос. авиационное и автотракторное изд., 1932. —; 26×17 см. — (Труды Центрального аэро-гидродинамического института).
4. Airships, Blimps, & Aerostats // Introduction to Aerospace Flight Vehicles URL: <https://eaglepubs.erau.edu/introductiontoaerospaceflightvehicles/chapter/lth/#chapter-13311-section-12> (дата обращения: 20.10.2025).
5. ZYLON®(PBO fiber) Technical Information // Toyobo URL: <https://imattec.com/brochures/technical-information-pbo.pdf> (дата обращения: 20.10.2025).
6. The Cost of Space Flight Before and After SpaceX // Visual Capitalist URL: <https://www.visualcapitalist.com/the-cost-of-space-flight/> (дата обращения: 20.10.2025).
7. A Vision and Framework for the High Altitude Platform Station (HAPS) Networks of the Future / Gunes Karabulut Kurt, Mohammad G. Khoshkholgh, Safwan Alfattani [и др.] // IEEE Communications Surveys & Tutorials. — 2021. — Vol. 23. — с. 729-779. — DOI:10.1109/COMST.2021.3066905.

**Разработка модульной архитектуры программного обеспечения для управления роботом-манипулятором с интеграцией моделей машинного обучения в традиционные контуры управления**

**Кашлев Матвей Викторович**

Научный руководитель - Коробков М.А.

МАИ, Москва

Ключевые слова: модульная архитектура, робот-манипулятор, гибридное управление, интеграция искусственного интеллекта, задача Pick-and-Place, ROS 2, машинное обучение.

Актуальность исследования обусловлена растущими требованиями к автоматизации производственных процессов, в которых роботы-манипуляторы выполняют задачи в условиях неструктурированных сред. Типичной задачей, демонстрирующей сложность таких условий,

является операция захвата и переноса объекта (Pick-and-Place). В современных промышленных сценариях роботы сталкиваются с неизвестными объектами, их перекрытием, изменением освещения, присутствием человека или подвижных элементов в рабочей зоне. Эти факторы затрудняют применение классических методов управления, основанных на детальном математическом моделировании кинематики и динамики манипулятора. В то же время подходы, целиком построенные на методах искусственного интеллекта, хотя и обладают высокой адаптивностью, часто не гарантируют требуемой надежности и безопасности в реальном времени.

Целью работы является разработка модульной архитектуры программного обеспечения для управления роботом-манипулятором, которая интегрирует модели машинного обучения в традиционные контуры управления для решения задачи Pick-and-Place, а также определение метрик для ее валидации. Такой гибридный подход призван сочетать надёжность и предсказуемость классических методов при реализации перемещения с гибкостью и адаптивностью принятия решений с помощью искусственного интеллекта (ИИ) в условиях неопределенности.

В рамках исследования проведена декомпозиция задачи Pick-and-Place, которая включает следующие этапы: сегментация сцены и идентификация объектов с помощью компьютерного зрения, выбор точки захвата, планирование безколлизионной траектории, выполнение захвата с контролем усилия, перенос объекта и возврат манипулятора в исходное положение. На основе этой декомпозиции определены точки интеграции ИИ-модулей в архитектуру роботизированного комплекса, в частности, для решения задач локализации объектов в неструктурированных сценах и оптимизации планирования захвата.

Разработана гибридная модульная архитектура роботизированного комплекса (рис. 1), построенная на базе фреймворка ROS 2. Архитектура разделяет классические контуры управления, отвечающие за безопасность, кинематику и динамику, и специализированные ИИ-модули, такие как нейросетевые модели для анализа сцены (YOLO v8 nano) и оценки качества захвата (GQ-CNN). Использование MoveIt2 обеспечивает планирование траектории, а интеграция ИИ-компонентов позволяет системе адаптироваться к изменяющимся условиям

среды.

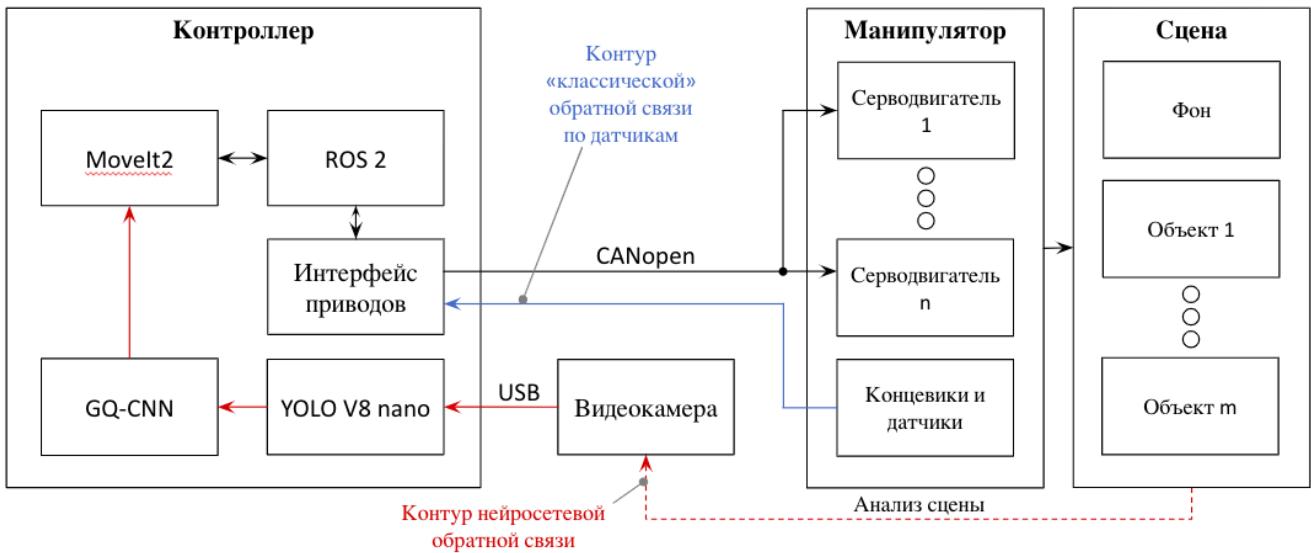


Рис. 1. Архитектура гибридного роботизированного комплекса

Для оценки эффективности предложенного подхода сформирована комплексная метрика, включающая успешность выполнения операции, время выполнения, точность позиционирования, обобщаемость на новые объекты и вычислительную нагрузку. На основе этих параметров построена агрегатная функция оценки, позволяющая проводить сравнительный анализ различных конфигураций системы.

$$Score = w_1 S_R + \frac{w_2}{S_{NO}} + \frac{w_3}{S_{Nacc}} + w_4 S_{gen} + \frac{w_5}{S_{GPU}},$$

где  $w_i$ ,  $i = 1..5 \in W$  - веса;

$S_R$  - доля успешно выполненных операций;

$S_{NO} = \frac{T_O}{T_N}$  - доля времени выполнения операции  $T_O$  относительно нормы времени ее выполнения  $T_N$ ;

$S_{Nacc} = \frac{S_{acc}}{S_N}$  - нормированное среднеквадратическое отклонение координаты конечного положения от целевого;

$S_{gen}$  - доля успеха на объектах, которые модель не видела при обучении;

$S_{GPU}$  - доля от максимальной нагрузки вычислителя.

Валидация архитектуры проводится посредством тестовых сценариев, моделирующих различные условия эксплуатации: структурированную среду с известными объектами и стабильным освещением, неструктуренную среду с новыми объектами и переменным освещением, а также возмущенную среду с высоким уровнем шума и помех. Тестирование выполняется в симуляционных средах Gazebo и Isaac Sim с последующим переходом к испытаниям на реальном оборудовании.

Проведённое исследование демонстрирует, что предложенная гибридная архитектура позволяет эффективно комбинировать преимущества классических и ИИ-подходов, обеспечивая высокую надежность и адаптивность системы управления. Результаты работы создают методологическую основу для разработки гибких, масштабируемых робототехнических комплексов, способных функционировать в реальных производственных условиях с минимальными доработками. В перспективе планируется дальнейшая оптимизация ИИ-модулей, расширение тестовых сценариев и внедрение системы в промышленные процессы.

Список использованных источников:

1. Ким В. Л. Модульная архитектура системы управления наземных мобильных роботов, обеспечивающая реализацию распределенных вычислений и оперативную реконфигурацию : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.05 / Ким Валерий Леонидович ; МГТУ «СТАНКИН». — Москва, 2022. — 176 с.
2. Краткое руководство по ROS (Robot Operating System) с интеграцией YOLO для роботов-манипуляторов : Ultralytics YOLO / Ultralytics. — 2025. — Электронный ресурс. — Режим доступа: <https://docs.ultralytics.com/ru/guides/ros-quickstart/> (дата обращения: 07.12.2025).

### **Состояние и перспективы развития бортовой антенной системы КОСПАС–САРСАТ**

**Киселев Артём Евгеньевич, Вуколов Андрей Алексеевич**

Научный руководитель – Гаджиев Э.В.

МАИ, Москва

Ключевые слова: КОСПАС-САРСАТ, поисково-спасательная система, спутниковая система, бортовая антенная система, антенно-фидерные устройства

КОСПАС–САРСАТ – международная спутниковая поисково-спасательная система, предназначенная для отслеживания в режиме реального времени сигналов бедствия судовых, авиационных и персональных аварийных радиомаяков, определение их географических координат и мгновенное информирование о чрезвычайных происшествиях поисково-спасательных служб и ответственных координационных центров.

Ключевой задачей проекта является обеспечение максимальной выживаемости в дальнем море и труднодоступных районах суши [1].

Структура системы КОСПАС–САРСАТ [2]:

- аварийный радиобуй-указатель местоположения (АРБ);
- аварийный передатчик-указатель положения (АРМ);

- персональный радиобуй (ПРБ);
- координационный центр системы (КЦС);
- поиск и спасение (ПС);
- спасательно-координационный центр (СКЦ);
- станция приёма и обработки информации (СПОИ);
- космический сегмент.

На рис. 1 представлена концепция функционирования системы КОСПАС–САРСАТ.

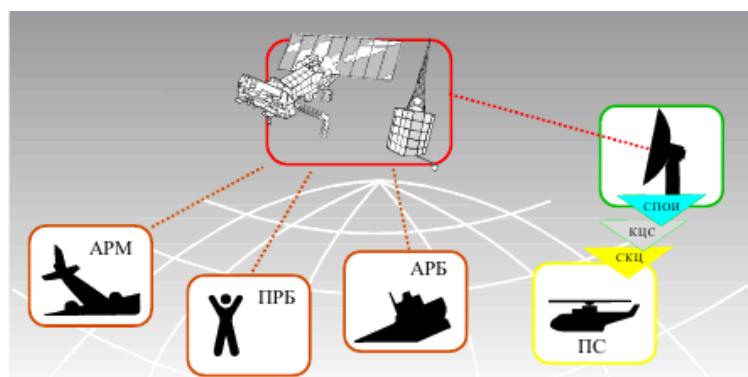


Рис. 1. Концепция системы КОСПАС–САРСАТ

Система включает в себя:

- аварийные радиобуи – используются в случае чрезвычайной ситуации для подачи аварийных сигналов и радиопеленгации поисково-спасательными службами терпящим бедствие. Обслуживаются 3 типа радиомаяков: АРМ для авиационного использования, АРБ для морского применения и ПРБ для персонального использования;
- оборудование на борту геостационарных и низкоорбитальных спутников, которое позволяет обнаруживать, обрабатывать и передавать на СПОИ сигналы, излучаемые аварийными радиобуями. Глобальность обслуживания обеспечивается тем, что бортовой компьютер космических аппаратов способен не только получать и передавать сигналы на Землю, но и ретранслировать их многократно, сохраняя в собственной памяти;
- наземные приёмные станции, называемые СПОИ, которые получают и обрабатывают сигналы со спутников для генерирования аварийных сообщений;

- координационные центры системы (КЦС), которые получают аварийные сообщения от СПОИ и направляют их в СКЦ, точки контакта для поиска и спасения (ТКПС) или другие КЦС.

Система состоит [1]:

- из шести космических аппаратов (КА) на низкой орбите и пяти КА на геостационарной орбите, которые обрабатывают и/или ретранслируют сигналы, полученные от аварийных радиобуев;
- из наземных приёмных станций (НПС), которые обрабатывают сигналы от КА с целью определения месторасположения радиобуя;
- из координационных центров системы, которые предоставляют аварийную информацию службам поиска и спасения.

В число участников проекта КОСПАС–САРСАТ входят четыре стороны Соглашения о международной программе (Россия, Канада, Франция и США), 26 государств, обеспечивающих наземный сегмент, 11 государств–пользователей и две организации–участницы [2].

Целью данной работы является определение состояния и перспективных направлений дальнейшего развития системы КОСПАС–САРСАТ в части проектирования бортовой антенной системы.

Комплект антенно–фидерных устройств (АФУ) КОСПАС–САРСАТ предназначен:

- для приёма сигналов от наземных аварийных радиобуев международной системы «КОСПАС–САРСАТ», работающих в диапазоне частот (406,01–406,09) МГц;
- для передачи сигналов на СПОИ на частотах  $(1544 \pm 0,1)$  МГц.

На рис. 2 представлены конструкции электродинамических моделей бортовых приёмной и передающей антенн, которые представляют собой конические спиральные антенны [3].

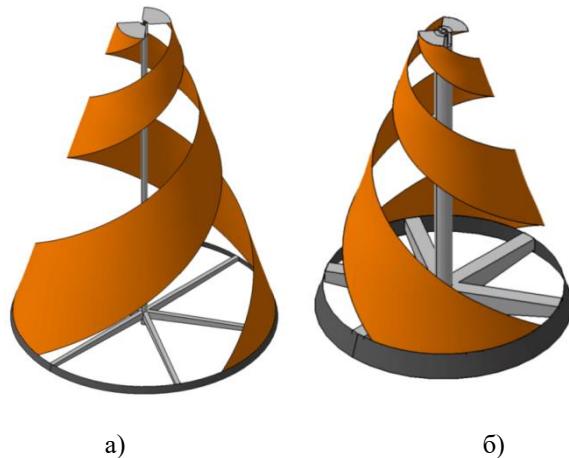


Рис. 2. Конструкция бортовых антенн:

а) приёмная антenna (406 МГц); б) передающая антenna (1544 МГц)

В качестве приёмной антенны дециметрового диапазона (406 МГц) радиоканала сигналов бедствия от аварийных радиобуев на КА предложен вариант применения четырехзаходной одновитковой спиральной антенны с круговой поляризацией правого направления вращения. В качестве передающей антенны радиоканала КА–НПС дециметрового диапазона (1544 МГц) предложен вариант применения четырехзаходной спиральной антенны с круговой поляризацией левого направления вращения, которые представлены на рис.3 соответственно [4].

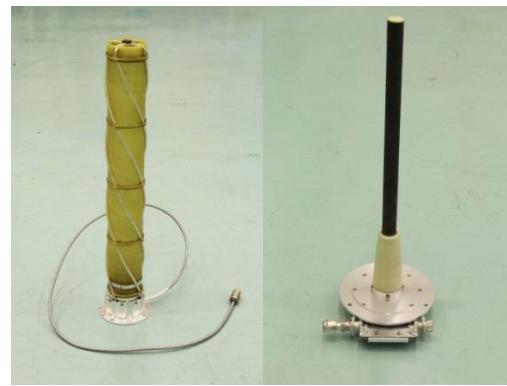


Рис. 3. Конструкция бортовых антенн:

а) приёмная антenna (406 МГц); б) передающая антenna (1544 МГц)

Дальнейшее развитие системы КОСПАС-САРСАТ связано с обновлением и расширением космического сегмента, а именно размещение оборудования КОСПАС-САРСАТ на космических аппаратах, предназначенных для работы в составе глобальных навигационных систем ГЛОНАСС, GPS и Galileo. В перспективе все они могут быть оснащены соответствующими бортовыми комплексами, что обеспечит постоянное повсеместное покрытие и высокую точность определения координат.

В результате проведенного анализа установлено, что современная бортовая антенная система КОСПАС-САРСАТ, конструктивной основой которой являются конические

четырехзаходные спиральные антенны с круговой поляризацией, обеспечивает надежный прием и передачу сигналов бедствия. Основным стратегическим направлением развития системы является размещение оборудования на космических аппаратах глобальных навигационных систем. Это позволит достичь глобального покрытия, высокой оперативности и точности определения координат, что существенно повысит эффективность международной поисково-спасательной системы.

Список использованных источников:

7. <http://www.cospas-sarsat.int> (дата обращения 27.11.2025)
8. АО Корпорация «Российские космические системы» <http://https://russianspacesystems.ru/bussines/cosmostroy/bortovaya-apparatura> (дата обращения 27.11.2025)
9. АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» [Электронный ресурс]: <https://www.iss-reshetnev.ru/> (дата обращения 27.11.2025)
10. Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Антennaя система для бортовой аппаратуры КОСПАС-САРСАТ // Радиотехника. – 2018. – № 8. – С. 204-211. – DOI 10.18127/j00338486-201808-38.

**Разработка бортовой системы мониторинга деформаций планера на основе волоконно-оптических брэгговских решеток**

**Коробкова Анна Вадимовна**

Научный руководитель – Макаренкова Н.А.

МАИ, Москва

Ключевые слова: Разработка, бортовая система, мониторинг, деформация, оптика

Современные требования к безопасности и экономической эффективности авиаперевозок обуславливают необходимость перехода от расчетных ресурсных моделей к системам мониторинга фактического состояния конструкции в реальном времени [1]. Ключевой задачей является контроль деформаций силовых элементов планера, возникающих под воздействием аэродинамических, тепловых и механических нагрузок. Особую опасность представляют динамические аэроупругие явления, такие как флаттер и бафинг, способные привести к катастрофическим последствиям. Существующие методы, основанные на тензорезистивных датчиках, часто не удовлетворяют требованиям по массогабаритным показателям, помехозащищенности и долговечности.

В разработанной бортовой системе мониторинга деформаций планера (далее – Система) в качестве высокочувствительных сенсоров используются волоконно-оптические брэгговские решетки (далее – ВБР). При разработке Системы проведен сравнительный анализ методов и

средств измерения деформаций, разработаны функциональные и структурные схемы, разработано математическое описание компонентов системы и проведено математическое моделирование чувствительных элементов ВБР, разработаны алгоритмы функционирования, обеспечивающие самодиагностику, калибровку и работу в нештатных, критических режимах. Проведенный анализ показал, что ВБР обладают рядом преимуществ для аэрокосмического применения: малый вес и габариты, пассивность к среде эксплуатации, нечувствительность к электромагнитным помехам, высокая коррозионная стойкость и возможность применения в распределенных сетях и системах с десятками точек измерения за счет мультиплексирования по длине волны (WDM) [2, 3].

Разработанная функциональная схема системы рисунок 1 включает многокомпонентные волоконно-оптические датчики (1.1 – 1.n), представляющие массивы ВБР, размещаемые на элементах планера (крыло, фюзеляж, оперение), воспринимающих наибольшие нагрузки. Датчики подключаются к В состав блока обработки информации и сопряжения (2) входят: волоконно-оптический интерфейс (2.1) для подключения к массиву ВБР, интерфейсы авионики – ARINC 629, MIL-STD-1553B, Ethernet (2.3) для подключения к интерфейсам бортового компьютера (БЦВМ), узел обработки и управления (2.2) для обработки измерительной информации и дисплей (2.4) для визуализации данных. Волоконно-оптические каналы связи (3, 4) предназначены для передачи измерительной информации от датчиков. Каналы связи авионики (5, 6) предназначены для подключения интерфейсам авионики и передачи данных в бортовой компьютер. Для повышения отказоустойчивости, все интерфейсы и каналы связи Системы резервируются.

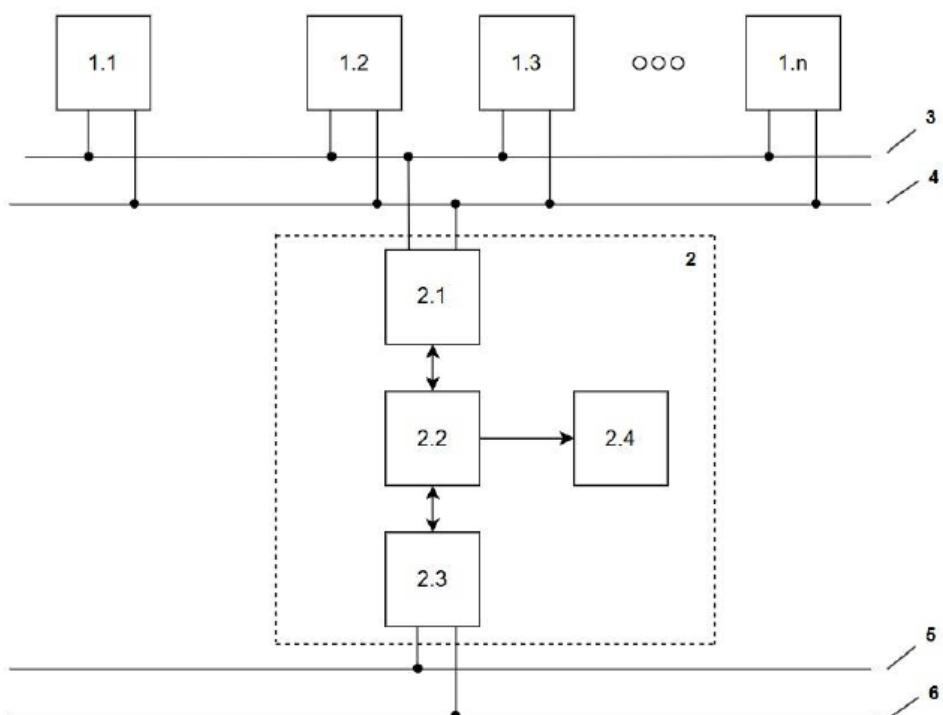


Рис. 1 – Функциональная схема системы мониторинга деформаций

В состав многокомпонентных волоконно-оптических датчиков входят чувствительные элементы на основе ВБР, частотно-перестраиваемый лазер, сканирующий спектр отражения решеток, схемы предварительной обработки информации и интерфейсы волоконно-оптических каналов связи. Изменение резонансной длины волны Брэгга  $\Delta\lambda_B$ , вызванное деформацией, регистрируется и преобразуется в величину механической деформации.

Разработанный алгоритм обеспечивает функционирования Системы, сбор и обработку измерительной информации. Обеспечивает инициализацию и проверку работоспособности всех компонентов, включая диагностику целостности оптических волокон методом OTDR, самодиагностику и калибровку через заданные интервалы времени для компенсации температурного дрейфа и поддержания высокой точности измерения деформации. Опрос многокомпонентных датчиков осуществляется с частотой 100-1000 Гц. Определяется вычисление деформаций и температурная коррекция результатов измерений. Выявление критических режимов (например, превышение порога деформации, возникновение автоколебаний) и обеспечивается передача сигналов в бортовой компьютер для демпфирования колебаний, в частности флаттера, и выдачи предупреждений экипажу. Время реакции на критические события не превышает 50 мс.

Для проверки корректности описания оптической структуры ВБР проведено математическое моделирование. Использовался матричный метод, позволяющий с высокой точностью рассчитывать спектральные характеристики как однородных, так и неоднородных решеток [4]. Моделирование подтвердило высокую чувствительность ВБР к деформации. Установлено, что сдвиг брэгговской длины волны  $\Delta\lambda_B$  линейно зависит от приложенной деформации  $\varepsilon$ :

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B \cdot (1 - p_e) \cdot \varepsilon,$$

где  $p_e$  – эффективная упругооптическая постоянная ( $\sim 0.22$  для кварцевого волокна).

На рисунке 2 представлен спектр отражения ВБР и его сдвиг при воздействии деформации.

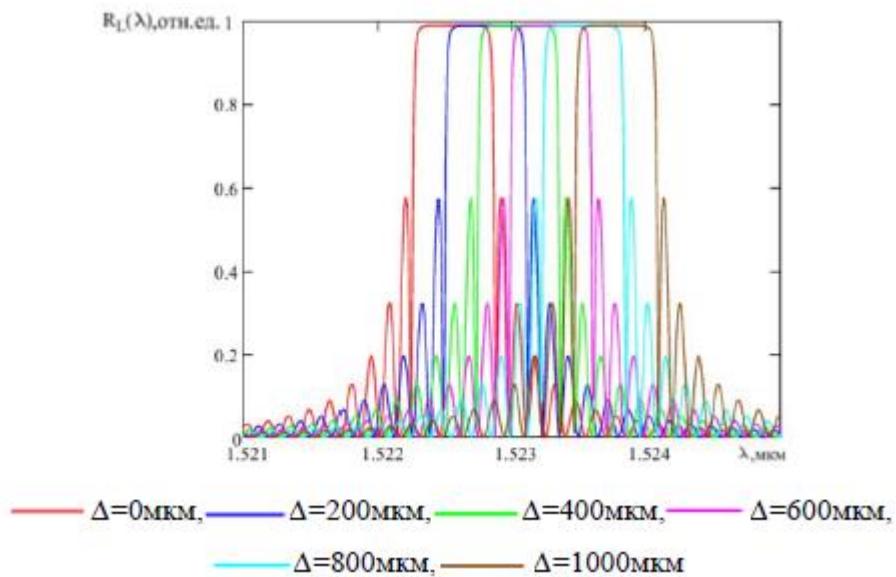


Рис.2 – Смещение спектра отражения ВБР под воздействием осевых растягивающих нагрузок

Результаты моделирования хорошо согласуются с результатами, полученными другими авторами. Разработанные функциональные и алгоритмические решения позволяют осуществлять контроль состояния конструкции планера летательного аппарата в реальном времени с высокой точностью. Внедрение системы мониторинга деформаций планерана основе волоконно-оптических брэгговских решеток позволит анализировать фактическое текущее состояние элементов планера летательного аппарата, реализовать эффективное противодействие аэродинамическим воздействиям, которые могут приводить к разрушению конструктивных элементов (флаттер, бафтиг), оптимизировать затраты на техническое обслуживание и, как следствие, повысить безопасность и экономическую эффективность эксплуатации летательных аппаратов.

Список использованных источников:

1. Коробкова А. В. Разработка системы считывания деформации на планере во время полета: Выпускная квалификационная работа бакалавра. – М.: МАИ, 2025. – 107 с.
2. Васильев С. А., Медведков О. И., Королев И. Г. Волоконные решетки показателя преломления и их применение // Квантовая электроника. – 2005. – Т. 35. – № 12. – С. 1085–1103.
3. Kashyap R. Fiber Bragg Gratings. – San Diego: Academic Press, 1999. – 458 p.
4. Erdogan T. Fiber Grating Spectra // Journal of Lightwave Technology. – 1997. – Vol. 15, № 8. – P. 1277–1294.
5. Бусурин В. И., Макаренкова Н. А., Шлеенкин Л. А. Основы получения информации в измерительных и управляющих системах: учебное пособие. – М.: МАИ, 2022. – 102 с.

**Методологическая основа прогнозирования геометрических деформаций произвольных 3D-форм на основе сферической модели анизотропии при СЛП-производстве**

**Коробов Константин Сергеевич, Бобылёв Артём Алексеевич,  
Хасболатов Азамат Камильевич, Брыкин Венамин Андреевич**

Научный руководитель – Рипецкий А.В.

МАИ, Москва

Ключевые слова: аддитивные технологии, SLS, анизотропия, геометрические отклонения, сферическая модель, икосфера, прогнозирование деформаций

В работе предлагается иерархическая методология для оценки и прогнозирования геометрических отклонений деталей, изготавливаемых методом селективного лазерного спекания (СЛП). Актуальность задачи подтверждается современными исследованиями, где отмечается значительная вариабельность размерной точности СЛП-изделий как в медицинских моделях [1, 2], так и при варьировании технологических параметров процесса [3]. Основу предлагаемого подхода составляет сферическая модель анизотропии, позволяющая описывать ориентационно-зависимую усадку материала независимо от конкретной формы детали и служащая базовым уровнем для последующей оценки функциональных элементов.

На первом этапе построена калибровочная база на основе серии икосфер различного номинального диаметра. Для каждой сферической поверхности отклонения измерены и переведены в азимутальные и полярные углы. Данные представлены в сферических координатах  $(\phi, \theta)$  и использованы для обучения регрессионной модели, описывающей глобальное поле усадки как функцию ориентации и масштаба геометрии. Полученная модель формирует непрерывную анизотропную карту «shrinkage»-эффектов, характеризующую базовый — объёмный — механизм деформации.

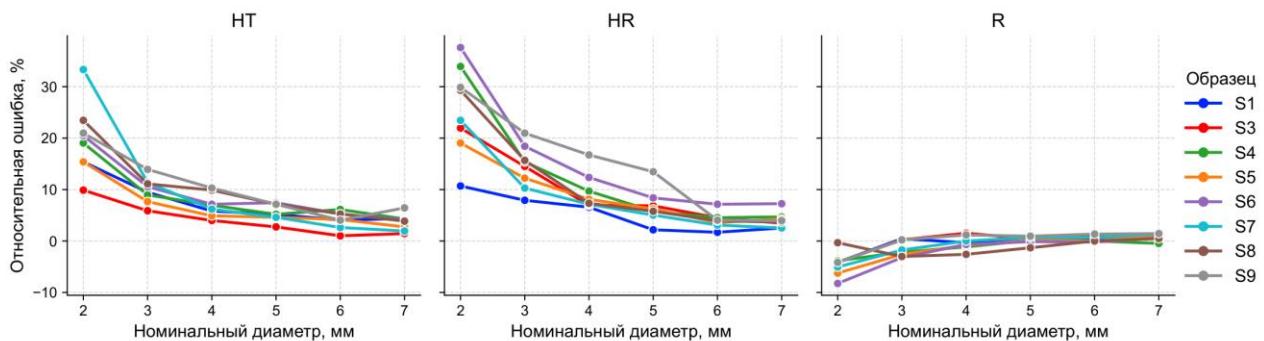


Рис. 1. Относительная погрешность измеренного диаметра в зависимости от номинального размера и типа геометрии (HT, HR, R).

На втором этапе проведена оценка применимости модели к функциональным элементам. Исследовались: (i) отверстия равной толщины стенки (HT), (ii) отверстия с переменной толщиной стенки (HR) и (iii) горизонтально ориентированные цилиндрические

валы. Эти элементы обладают существенно отличающейся тепловой инерционностью и локальными условиями охлаждения, что приводит к геометрически обусловленным механизмам деформации. Влияние номинального диаметра и типа геометрического элемента на относительную размерную ошибку показано на рис. 1. Элементы с равномерной толщиной стенки (HT) демонстрируют наиболее стабильное поведение, тогда как отверстия с переменной толщиной стенок (HR) и горизонтальные валы (R) характеризуются увеличенной вариабельностью отклонений.

Сопоставление экспериментальных данных с прогнозом сферической модели позволило выделить области применимости: для объёмных и равномерно охваченных материалом областей наблюдается согласование с глобальной моделью, тогда как тонкостенные и полостные структуры демонстрируют дополнительные локально-геометрические эффекты.

Список использованных источников:

1. Msallem B., Vavrina J. J., Beyer M., Halbeisen F. S., Lauer G., Dragu A., Thieringer F. M. Dimensional accuracy in 3D printed medical models: a follow-up study on SLA and СЛП technology // Journal of Clinical Medicine. 2024. Vol. 13, No. 19. Article 5848. DOI: 10.3390/jcm13195848.
2. Msallem B., Sharma N., Cao S., Halbeisen F. S., Zeilhofer H. F., Thieringer F. M. Evaluation of the dimensional accuracy of 3D-printed anatomical mandibular models using FFF, SLA, СЛП, MJ, and BJ printing technology // Journal of Clinical Medicine. 2020. Vol. 9, No. 3. Article 817. DOI: 10.3390/jcm9030817.
3. Sharma V., Singh S. To study the effect of СЛП parameters for dimensional accuracy // In: Advances in Materials Processing: Select Proceedings of ICFMMP 2019. Singapore: Springer, 2020. P. 165–173. DOI: 10.1007/978-981-15-4748-5\_17.

### **Разработка методики прямой металлизации печатных плат**

**Круглянкин Владислав Станиславович, Третьякова Мария Федоровна**

Научный руководитель – Коробков М.А.

МАИ, Москва

Ключевые слова: печатные платы, металлизация отверстий, прямая металлизация, активаторы, гальваническое меднение, эксперименты, электролит

В производстве многослойных и двусторонних печатных плат процесс металлизации сквозных и переходных отверстий, обеспечивающий электрическое соединение между слоями токопроводящего рисунка, является критически важным и предъявляет высокие требования к методике. Традиционно для этих целей применяется метод химической металлизации, требующий наличия начального проводящего слоя, на котором в дальнейшем наращивается

слой меди до требуемого по ГОСТ Р 55693-2013 [1]. Однако сквозные отверстия в диэлектрическом материале, таком как стеклотекстолит, изначально не обладают проводимостью. Для решения этой проблемы ранее использовалась схема активации с применением палладиевых катализаторов [2], на которых восстанавливался тонкий слой химической меди, но технология имеет ряд существенных недостатков, среди которых: высокая стоимость палладия, его токсичность и необходимость сложной утилизации отработанных растворов, рыхлый осадок меди, который быстро окисляется. Целью исследования является разработка эффективного и экономически целесообразного метода прямой металлизации для лабораторного и мелкосерийного производства. В работе рассмотрена прямая металлизация, технология изготовления электролита в работе соответствует необходимым требованиям для данного типа операций [3]. Также в работе описаны результаты сравнительного анализа шести различных активаторов процесса металлизации, включая графитовые спреи, графитовые и графеновые краски на различных связующих основах, а также аммиачный комплекс гипофосфита меди. Описана методика подготовки поверхности заготовок, методы активации и процесс последующего гальванического меднения. Приведены результаты экспериментальных исследований с использованием тест-купонов, включающих анализ качества металлизации отверстий различного диаметра. Одним из показателей качества в нашей работе является оценка однородности толщины покрытия [4]. Наилучшим образом в исследовании себя показал активатор на основе гипофосфита меди вплоть до отверстий 0,8 мм включительно. Для активаторов на основе графита выявлена проблема рыхлости итогового напыления, что подтверждается аналогичными исследованиями [5]. Основными недостатками п Установлены количественные показатели дефектности для каждого метода активации.

По данным этой таблицы был произведен расчет доли дефектных отверстий для каждого способа активации (таблица. 1).

Табл. 1 — Доля дефектных отверстий для каждого метода активации

Активатор	Графитовый спрей	АКГФМ	Графитовая краска	V1	C1	P1
Доля дефектных отверстий	0,50	0,14	0,25	0,52	0,53	0,41

Полученные результаты позволяют оптимизировать технологию прямой металлизации отверстий печатных плат и могут быть использованы в практике мелкосерийного производства электронной аппаратуры.

Список использованных источников:

1. ГОСТ Р 55693–2013. Платы печатные жёсткие. Технические требования. – Введ. 2014–07–01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 20 с.
2. Медведев А., Салтыкова В., Lundquest Jorgan. Печатные платы. Системы прямой металлизации // Компоненты и технологии. 2003. №4. С.203-207.
3. Электрохимическое меднение [Электронный ресурс] // МеталлЭнергоХолдинг. – URL: <https://metatorg.ru/shop/uslugi/pokrytie-metalla/elektrohimicheskoe-mednenie/> (дата обращения: 07.12.2025).
4. Григорьев П., Шимчук Т., Цивинская Т. Анализ технологий прямой металлизации отверстий печатных плат // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2018. № 8. С. 138–141
5. **Бараковский Ф., Ванцов С.** Исследование средств активации-сенсибилизации для мелкосерийного и единичного производства печатных плат // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2023. – № 5 (226). – С. 126–136.

**Описание функционала, особенностей работы и реализации Advanced Memory Test**

**Кучук Егор Андреевич**

Научный руководитель – Васильев Ф.В.

МАИ, Москва

Ключевые слова: BIOS, AMT, оперативная память, тестирование, аппаратный уровень, CPGC

Запоминающие устройства (ЗУ), такие как динамическая память с произвольным доступом (DRAM), подвержены разного рода ошибкам, которые приводят к потере или искажению хранящейся в них информации. AMT позволяет быстро и эффективно тестировать память, используя аппаратный блок генерации случайных паттернов (CPGC).

Тестирование памяти CPGC (Concurrent Performance Controller) — это высокопроизводительный аппаратный метод тестирования и тренировки памяти DRAM, часто интегрируемый в серверную BIOS (MRC) как Advanced Memory Test (AMT). Это быстрее и эффективнее, чем традиционные программные или внешние методы тестирования, поскольку кэш-память L3 центрального процессора позволяет запускать параллельные тестовые шаблоны непосредственно для каждого канала памяти, ускоряя проверку и отладку интерфейсов памяти.

Advanced Memory Test (AMT) — это аппаратный метод высокопроизводительного тестирования оперативной памяти DRAM, применяемый в серверных системах, часто интегрированный в BIOS (например, Memory Reference Code, MRC).

В основе АМТ лежит использование аппаратного блока генерации случайных паттернов (CPGC), который позволяет параллельно и эффективно тестировать память на каждом канале, что значительно ускоряет проверку по сравнению с традиционными программными методами.

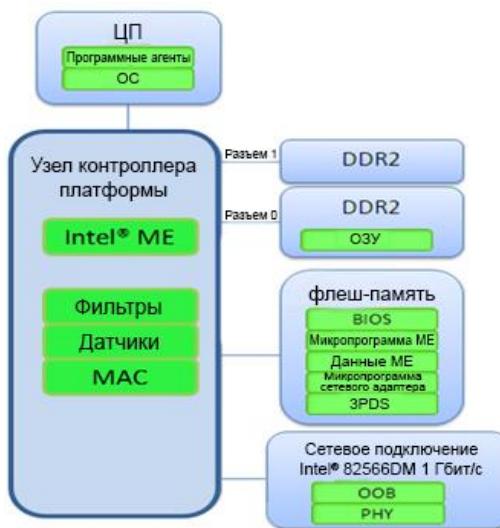


Рис. 1. Архитектура технологии Intel Active Management 11

### Основные функции АМТ

- Высокая производительность.

Как было сказано выше, АМТ использует параллельную обработку через кэш-память L3 центрального процессора, что позволяет одновременно тестировать несколько каналов памяти.

Это значительно ускоряет процесс проверки, в отличие от традиционных программных методов.

- Интеграция с BIOS.

АМТ интегрирован в серверную BIOS, что дает возможность активировать его при POST (Power-on Self Test) непосредственно при загрузке системы.

Параметры конфигурации могут быть изменены пользователем через интерфейс BIOS, что предоставляет гибкость в настройке тестов.

- Поддержка параллельного тестирования.

АМТ выполняет многопроходное тестирование блоков памяти (минимум 3 прохода с паттернами/комплементами в порядке возрастания и убывания) с PPR-ремонтом (в режиме Hard или Soft).

АМТ является высокоэффективным инструментом для тестирования и диагностики оперативной памяти в серверных системах, обеспечивая параллельное выполнение проверок через аппаратный блок CPGC.

Интеграция АМТ с BIOS (MRC) позволяет выполнять предзагрузочное и фоновое тестирование, а также автоматически запускать процедуры восстановления (PPR) при обнаружении ошибок.

Поддержка различных алгоритмов тестирования (March, вендор-специфичные режимы) и гибкая настройка через BIOS обеспечивают адаптивность АМТ к разным типам памяти и сценариям использования.

Таким образом, АМТ представляет собой комплексное решение для обеспечения отказоустойчивости и стабильной работы серверных платформ, сочетающее аппаратные и программные технологии для глубокой диагностики памяти.

Список использованных источников:

1. Advanced memory test diagnostics. Google patents. URL:  
<https://patents.google.com/patent/US9443613B2/en>
2. Intel. Memory Replacement Guideline and Advanced Memory Test for DSG Commercial Platform Server BIOS Technical Paper. URL:  
<https://community.intel.com/cipcp26785/attachments/cipcp26785/server-products/24170/1/memory-replacement-guideline-and-amt-guide-for-dsg-server-systems.pdf>
3. The Architecture of a Reusable Built-In Self-Test for Link Training, IO and Memory Defect Detection and Auto Repair on 14nm Intel SOC by Bruce Querbach, June 12, 2015.
4. Xiuqin Chu, Jun Wang, Kailin Li, Ruonan Wang, Yang Liu, "An Efficient Stress Pattern Based on VMRQ-PRBS for DDR Training", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol.64, no.6, pp.2218-2226, 2022. URL:  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7342399>

**Влияние временной задержки на энергетические характеристики  
двухимпульсной установки**  
**Кыржэу Денис Анатолиевич**  
Научный руководитель – Шилин П.Д.

ТулГУ, Тула

Ключевые слова: летательный аппарат, транспортная эффективность, двухимпульсная схема, энергетическая установка, математическое моделирование, баллистический участок, аэродинамическое сопротивление

Современные тенденции развития авиационной и ракетной техники предъявляют повышенные требования к транспортной эффективности ЛА. Традиционные одноимпульсные силовые установки не всегда обеспечивают рациональное распределение энергии вдоль траектории, что приводит к значительным потерям на преодоление сил гравитации и

аэродинамического сопротивления [1]. В связи с этим актуальной задачей является поиск и оптимизация альтернативных схем работы двигательных установок. Применение двухимпульсной системы, предполагающей разделение работы двигателя на два активных участка, разделенных пассивной баллистической фазой, представляется перспективным направлением для минимизации энергетических потерь.

**Цель исследования** – количественная оценка влияния параметров двухимпульсной схемы (длительности паузы между импульсами распределенного топлива) на транспортную эффективность летательного аппарата с помощью комплексного математического моделирования.

Для достижения поставленной цели разработана детализированная математическая модель, интегрирующая несколько ключевых блоков:

1. Система уравнений движения ЛА переменной массы в вертикальной плоскости, основанная на уравнениях Мещерского, с учетом сил тяги, аэродинамического сопротивления и гравитации. Масса аппарата изменяется линейно в соответствии с расходом топлива.
2. Модель атмосферы, учитывающая климатические вариации через стандартные температурные профили. Для расчета текущих параметров (плотность, давление) на произвольной высоте используется алгоритм линейной интерполяции табличных данных.
3. Модель двухимпульсной установки с разделением общего запаса топлива на два полузаряда в пропорции 70% (первый импульс) и 30% (второй импульс) от общей массы.
4. Алгоритм управления, последовательно реализующий фазы полета: первый активный участок, пассивная баллистическая фаза заданной длительности, второй активный участок.

Программная реализация модели выполнена в среде C++ Builder. Интегрирование уравнений движения проводилось численным методом Эйлера с постоянным шагом 0.001 с, что обеспечило требуемую точность расчетов. Схема исследования представлена на Рис. 1.

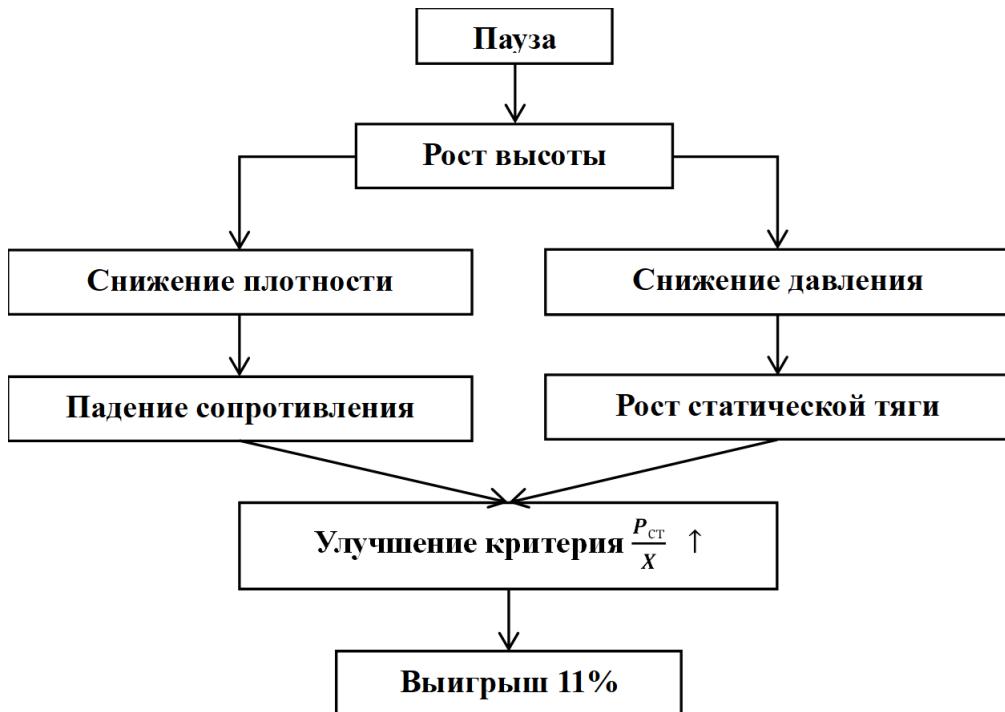


Рис. 1. Схема механизма выигрыша эффективности от высоты полета при двухимпульсной схеме работы энергетической установки

Проведенное параметрическое исследование позволило установить существенную зависимость транспортной эффективности ЛА от длительности паузы между импульсами в двухимпульсной схеме. Наличие оптимальной временной задержки между активными участками подтверждено численно. Слишком короткая пауза не позволяет ЛА в достаточной мере выйти из области высокой плотности атмосферы, что снижает выгоду от схемы. Чрезмерно длинная пауза приводит к потере скорости и высоты на баллистическом участке, требуя их компенсации на втором импульсе и повышая общий расход энергии.

Моделирование показало, что реализация научно обоснованной двухимпульсной схемы с оптимальной временной паузой позволяет достичь прироста интегрального показателя транспортной эффективности на **11,1%** по сравнению с классической одноимпульсной схемой при тех же начальных условиях и запасе топлива [2]. Это подтверждает перспективность дальнейших исследований в данном направлении, включая оптимизацию не только временного интервала, но и соотношения масс топливных зарядов, а также учет пространственной траектории полета.

Список использованных источников:

1. Du X., Hui W., Tan Y., Feng W., Liu Y. Research on the Design and Bidirectional Work Process of Metal Diaphragms in Small Double-Pulse Solid Rocket Motors // Aerospace. 2024. Vol. 11, no. 10. P. 848. URL: <https://doi.org/10.3390/aerospace11100848> (дата обращения: 05.11.2025).
2. Ветров В.В., Костяной Е.М., Шилин П.Д. Концептуальное проектирование летательных аппаратов с доминирующим энергопассивным участком траектории, ориентированное на повышение баллистической эффективности // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2025. № 3. С. 24–33.

**Расчетно-экспериментальный анализ конструкции корпуса порохового аккумулятора давления поляризационно-оптическим методом**

**Лазарева Арина Александровна, Сабитов Роман Альбертович**

Научный руководитель – Абашев В.М.

МАИ, Москва

**Ключевые слова:** Пороховой аккумулятор давления, напряженно-деформированное состояние, поляризационно-оптический метод, газогенераторы, тепловая нагрузка, давление

Данная работа посвящена комплексному исследованию напряжённо-деформированного состояния (НДС) корпуса порохового аккумулятора давления (ПАД), применяемого для разделения ступеней ракетных двигательных установок. В работе представлен расчётно-экспериментальный подход, сочетающий численное моделирование методом конечных элементов (МКЭ) в расчетном ПО и экспериментальный анализ методом фотоупругости на установке ППУ-7.

Проведены теплогазодинамические и прочностные расчёты, позволившие определить поля давления, температуры и напряжений в конструкции с перфорированными отверстиями. Экспериментальная часть включала моделирование тепловых и силовых нагрузок на образцах из эпоксидной смолы, воспроизводящих геометрию ПАДа. Методом замораживания напряжений получены картины распределения НДС, выявлены зоны концентрации напряжений.

Сравнение результатов численного и экспериментального методов показало высокую сходимость — расхождение не превышает 5%. На основе проведённого анализа сформулированы рекомендации по оптимизации конструкции: увеличение расстояния между отверстиями до 1,75 диаметра для снижения взаимного влияния концентраторов напряжений.

Исследование демонстрирует эффективность сочетания МКЭ и фотоупругости для анализа сложных инженерных конструкций. Полученные результаты могут быть

использованы при проектировании и модернизации пороховых аккумуляторов давления, что способствует повышению надёжности и безопасности ракетных систем.

**Применение мобильной связи для дистанционного управления  
роботизированными модулями**

**Ларькин Артемий Владимирович, Самойлова Ксения Ивановна, Денисов Артем  
Александрович**

Научный руководитель - Чемоданов В.Б.

МАИ, Москва

Ключевые слова: gsm модуль, мобильная связь , TCP , стенд

Современные тенденции в робототехнике и телекоммуникациях свидетельствуют о стабильно растущем интересе научного и инженерного сообщества к разработке комплексных систем дистанционного управления роботизированными модулями, основанных на использовании инфраструктуры мобильной связи. Такой способ передачи данных практически не имеет существенных ограничений по дальности благодаря глобально развитой сети базовых станций, обеспечивающих широкое и практически повсеместное территориальное покрытие, включая труднодоступные и удалённые регионы. Данная статья является частью более масштабного исследовательского проекта, нацеленного на создание единой, устойчивой и масштабируемой сети роботизированных единиц, управляемых исключительно по каналам мобильной связи.

Целью данного исследования является всесторонний анализ возможностей и ограничений использования современных и перспективных стандартов мобильных сетей для оперативной и надёжной передачи управляющих сигналов в робототехнических системах различного уровня сложности и назначения. Особое внимание уделяется оценке ключевых параметров, таких как стабильность соединения, величина задержки и энергопотребление системы в реальных условиях эксплуатации.

Для практического исследования возможностей мобильных сетей был разработан и собран специализированный тестовый стенд на базе GSM/GPRS-модуля SIMCOM A7670E, обладающего также поддержкой технологий 3G и 4G. Конструкция стендла представляет собой мобильное роботизированное шасси с системой дистанционного управления, которая взаимодействует со специализированным кроссплатформенным приложением, разработанным на фреймворке QT C++. Ключевой особенностью разработанного стендла является его модульная и открытая архитектура, обеспечивающая высокую гибкость при подключении разнообразных дополнительных компонентов, датчиков и исполнительных устройств, а также при проведении серий экспериментов с различными конфигурациями управления и алгоритмами обработки данных.

Для передачи данных был разработан свой протокол ,но для проведения испытаний над стендом был упрощён , с сохранением основных частей .Сообщение для передачи данных состоит из основной части и заголовка .Основная часть хранит саму информацию .Заголовок - хранит информацию об отправителе сообщении и состояния сообщения .Он состоит из идентификатора и флагов. Идентификатор каждый раз меняется при переподключении . В упрощённом протоколе был пропущен процесс получения идентификатора а также заранее знает управляющие устройство (пульт стенда) чего в не будет при обычном использовании.

В рамках углублённого исследования потенциала мобильных сетей для задач дистанционного управления робототехническими системами была проведена обширная серия натурных экспериментов с последовательным использованием различных стандартов связи: 2G (GSM/GPRS), 3G (UMTS/HSPA) и 4G (LTE CAT-1). Выбор именно этого набора технологий был обусловлен необходимостью сравнительной оценки таких критически важных параметров, как устойчивость соединения при перемещении, динамические задержки передачи управляющих команд и общая энергоэффективность системы в условиях реальной, динамически изменяющейся сети с переменным уровнем сигнала и нагрузкой.

Перспективы дальнейшего развития данного исследования включают углублённое изучение более высокоскоростных и современных режимов мобильной связи, таких как LTE CAT-4, продвинутые профили LTE Advanced, а также перспективные технологии 5G и находящиеся в стадии фундаментальной разработки концепции 6G. Такой последовательный переход к более совершенным стандартам позволит комплексно и всесторонне оценить их реальную применимость для критически важных задач робототехники, требующих гарантированно сверхнизких задержек, исключительно высокой пропускной способности для передачи телеметрии и видео, и повышенной надёжности передачи данных в режиме реального времени.

#### Список использованных источников:

1. *A7670 Series Hardware Design SIMCom Wireless Solutions Limited 2020*
2. RFC 9293 Transmission Control Protocol (TCP)

**Разработка программного комплекса моделирования поражения самолёта средствами ПВО в интересах оценки его боевой живучести**  
**Лысаковский Иван Дмитриевич, Рачонок Егор Владимирович**  
**Научный руководитель - Малафеев И.В.**

МАИ, Москва

**Ключевые слова:** боевая живучесть, авиационный комплекс, системы противовоздушной обороны, средства поражения, летательный аппарат, жизненно-важные агрегаты, бронирование агрегатов, поле осколков, боевая часть, математическое моделирование, программный комплекс, системный анализ, исследование операций.

Разрабатываемая авиационная боевая техника должна отвечать требованиям высокой боевой эффективности и живучести для выполнения различных задач при взаимодействии с потенциальным противником. Современные системы противовоздушной обороны (ПВО) имеют устойчивую тенденцию к активному развитию и повышению своего боевого потенциала, поэтому особенно актуальной задачей является применение разнообразных мероприятий повышения боевой живучести (БЖ) летательных аппаратов (ЛА) различного класса. Для решения задач повышения боевой живучести авиационных боевых комплексов (АБК) особенно важно наличие инструмента (как методических, так и программных средств) для оценки влияния мероприятий повышения боевой живучести на вероятность поражения летательного аппарата.

В работе рассматривается создание инструмента для моделирования поражения самолёта средствами ПВО в интересах оценки его боевой живучести. В ходе работы был проведён анализ возможных вариантов средств поражения (СП), возможных схем расположения жизненно-важных агрегатов (ЖВА) ЛА и схем уязвимости. Была подготовлена информационная база характеристик средств поражения и объекта воздействия, определена система показателей оценки, сформулирован перечень основных допущений, которые упрощают требования к модельно-методическому аппарату: модель летательного аппарата аппроксимирована относительно простыми фигурами, используется одна схема бронирования – равно распределённая по ЖВА, СП считается материальной точкой, поле обзора радиовзрывателя (РВ) представляет собой область между граничными конусами обзора РВ, область разлёта осколков СП представляет собой фигуру тор, траектория подхода СП считается случайной в рамках заданных граничных значений, количество осколков СП фиксировано, осколки имеют сферическую форму, траектории осколков СП имеют бесконечную длину, случайные величины считаются распределёнными по нормальному закону, влияние осколков после пробития не учитывается, не учитываются разные виды

поражения. На основе полученного графика снижения вероятности поражения от массы, затраченной на бронирование, можно сделать выводы об эффективности варианта бронирования ЛА.

Была разработана структурная схема программного комплекса моделирования поражения самолёта средствами ПВО в интересах оценки его боевой живучести (рисунок 1). В работы применены подходы, описанные в следующих источниках: [1-7]

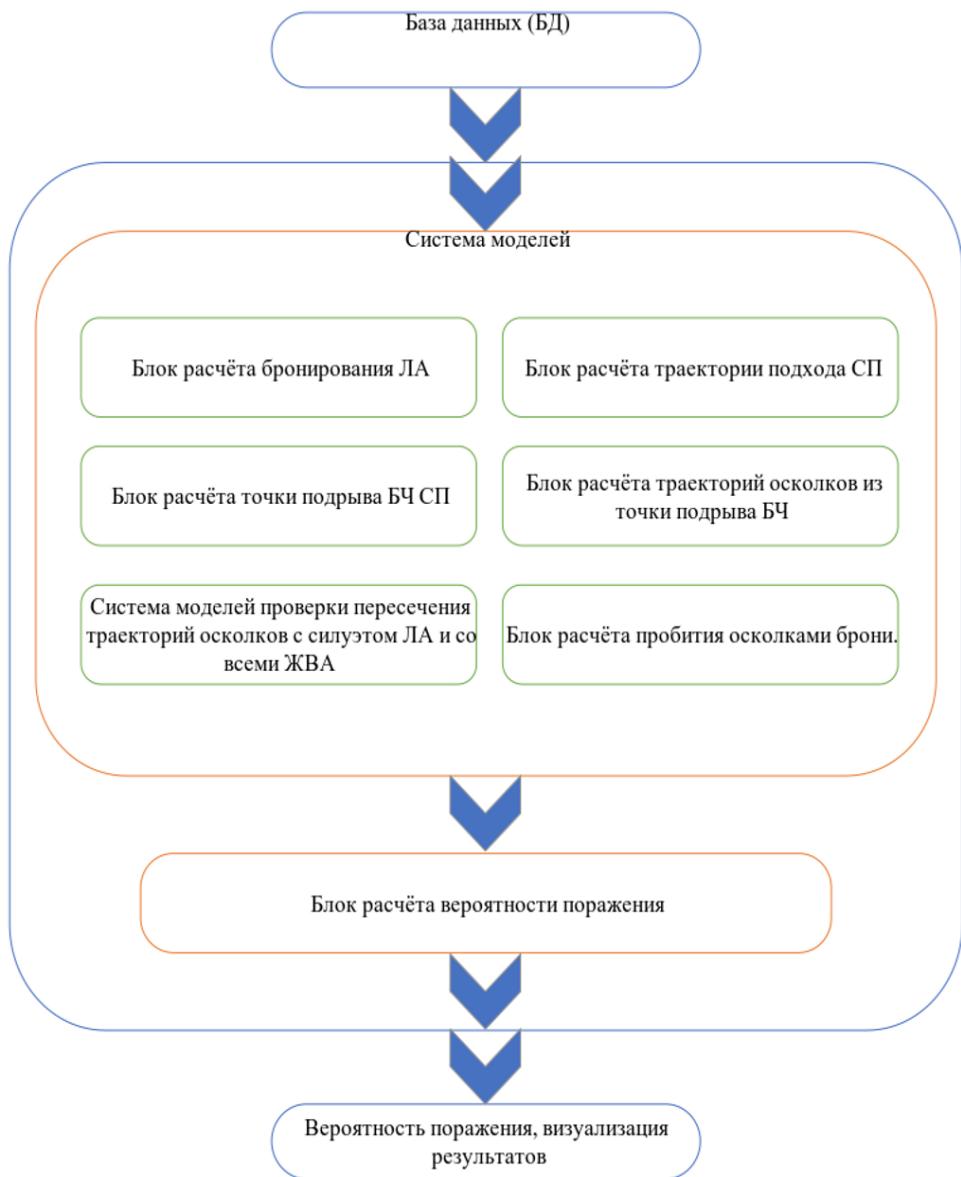


Рис. 1 — Блок-схема программного комплекса

В состав программного комплекса входят следующие элементы: БД, Программный (расчетный блок), система 3D-визуализации результатов. На рисунке 2 изображены результаты моделирования в виде 3D-изображения.

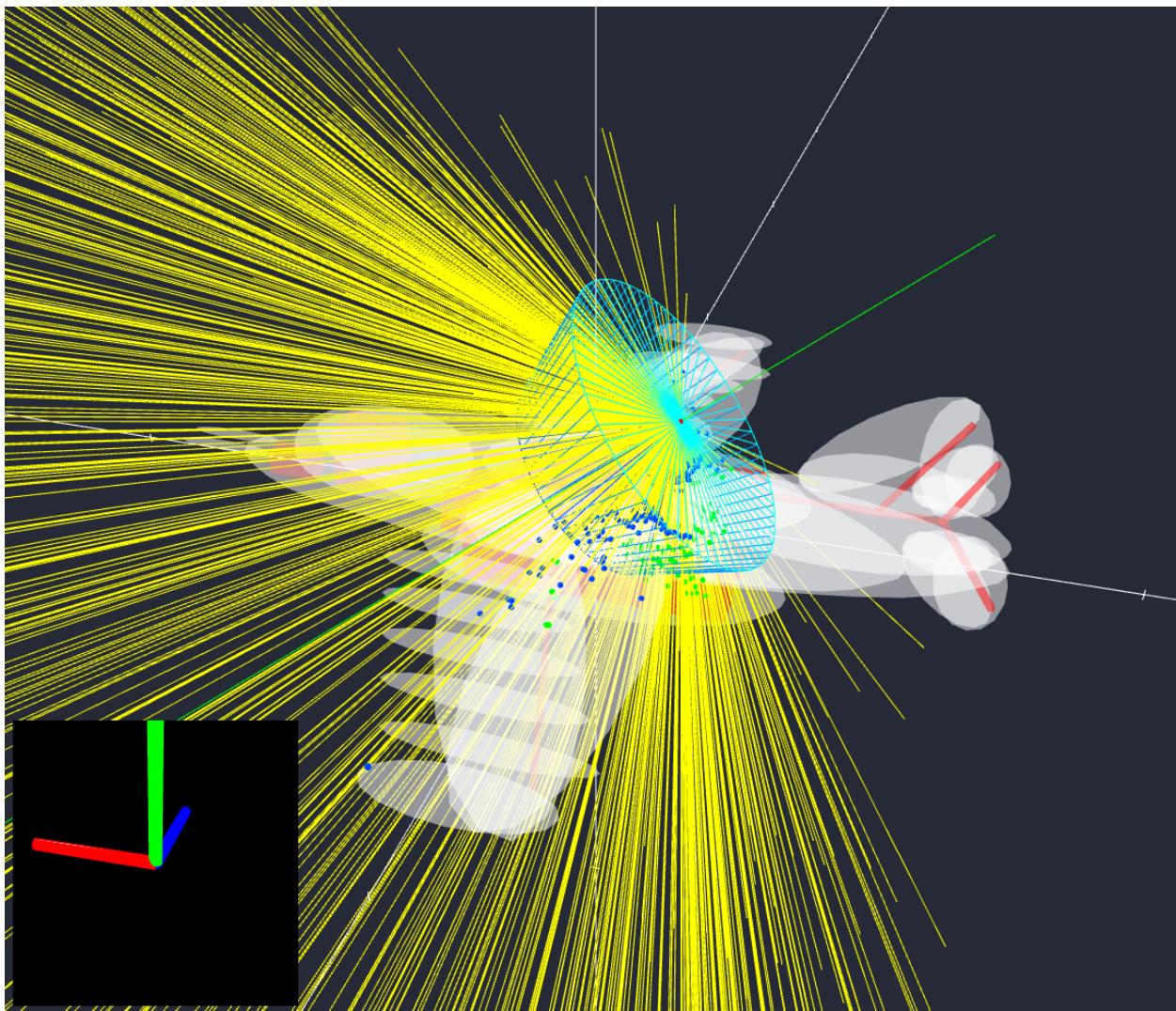


Рис. 2 — Пример 3D-визуализации результатов

Расчетный блок разработан с использованием модельного аппарата, состоящего из следующих элементов:

1. Блок расчёта бронирования ЛА. Данная модель рассчитывает толщину брони на миллиметр площади поверхности исходя из заданной массы, выделенной на бронирование. Основными характеристиками модели являются: масса на бронирование ЛА, площади всех ЖВА.
2. Блок расчёта траектории подхода СП. В данном блоке случайно определяется траектория подхода СП к цели с учётом заданных граничных значений для каждой итерации.
3. Блок расчёта точки подрыва БЧ СП. В данном блоке оцениваются координаты точки подрыва БЧ вдоль траектории, исходя из попадания ЛА в поле обзора РВ. Основными характеристиками модели являются дальность обзора РВ и углы граничных конусов РВ.

4. Блок расчёта траекторий осколков из точки подрыва БЧ. Данная модель распределяет осколки в области разлёта. Основными характеристиками модели являются: количество осколков СП, минимальный и максимальный углы области разлёта осколков СП.

5. Система моделей проверки пересечения траекторий осколков с силуэтом ЛА и со всеми ЖВА. В данной системе моделей для всех осколков итеративно происходит проверка на пересечение сначала с силуэтом ЛА, а затем и со всеми ЖВА. Основными параметрами блока являются координаты фигур, составляющих силуэт и ЖВА ЛА и уравнения траекторий осколков.

6. Блок расчёта пробития осколками брони. В данном блоке для каждого осколка итеративно рассчитывается возможность пробить броню. Основными характеристиками являются, энергия осколка, диаметр осколка, угол встречи с бронёй, толщина брони.

7. Блок расчёта вероятности поражения. Данный блок считает вероятность поражения, исходя из схемы уязвимости ЛА и количества осколков, пробивших броню конкретных ЖВА. Основными параметрами являются: схема уязвимости, множество «прочностей» ЖВА, множество осколков, пробивших броню конкретных ЖВА.

Программная реализация осуществлена на языке C++ с использованием среды разработки Qt Creator, а также с помощью редактора таблиц Excel для задания параметров летательного аппарата и СП.

В ходе работы проведена серия модельных экспериментов, продемонстрировавшая адекватность результатов, а также работоспособность модельно-методического аппарата.

Список использованной литературы:

1. Базанянц С.И., Меднов А.Н., Букшин А.Ф., Иоффе З.А., Лырщиков П.К. Боевая живучесть летательных аппаратов (по материалам зарубежной печати) // Под ред. доктора технических наук В.Ф. Леонтьева - М.: Военное издательство, 1983. - 348 с.

2. Теория вероятностей: Учеб. для вузов / Е.С. Венцель. - 10-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2006. - 575 с.

3. Томилов Ю.М. Методология оценки боевой живучести летательных аппаратов. // В сборнике: Моделирование ГНЦ РФ ФГУП «ГосНИИАС»; РАН; РФФИ. 2011. - С. 250-256.

4. Остапенко, И.И., Томилов Ю.М. Уязвимость и пути повышения боевой живучести радиоэлектронного оборудования // Навигация, наведение и управление летательными

аппаратами: Тезисы докладов Третьей Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 21–22 сентября 2017 года. Том 1. – Москва: Издательство "Научтехлитиздат", 2017.

5. Сулим М. В., Томилов Ю. М., Топоров Н. Б. Влияние степени защищенности бортового радиоэлектронного оборудования и других жизненно важных агрегатов на боевую эффективность авиационного боевого комплекса // Навигация, наведение и управление летательными аппаратами: Тезисы докладов Третьей Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 21–22 сентября 2017 года. Том 1. – Москва: Издательство "Научтехлитиздат", 2017. – С. 30-32.

6. Рачонок Е.В. Томилов Ю.М. Боевая живучесть авиационных боевых комплексов // Моделирование авиационных систем: Сборник тезисов докладов V Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 27–28 ноября 2024 года. – Москва: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2024. – С. 18-20. е

7. Рачонок Е.В. Томилов Ю.М. Выживаемость авиационных комплексов на аэродромах // Моделирование авиационных систем: Сборник тезисов докладов VI Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 20–21 ноября 2025 года. – Москва: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2025. – С. 18-20.

**Актуальность накопителей энергии типа суперконденсаторы в разработке  
авиационной и космической техники**  
**Манченко Глеб Витальевич, Войтухов Макар Романович**  
ООО ЭНИПТ, .Москва

Ключевые слова: Накопители, суперконденсатор, ионистор, энергия, батареи

Накопители энергии тесно связаны с космической техникой, они помогают определять возможности электрификации авиации и повышения энерговооружённости космический аппаратов (КА), где ключевыми факторами выступают удельная энергоёмкость и массогабаритные характеристики. [1]

Накопители энергии запасают энергию, получаемую из системы электроснабжения, хранят ее и выдают обратно в энергосистему (при необходимости). Поэтому НЭ являются важным промежуточным звеном между генераторами и системами распределения и потребления электроэнергии.[2] На рисунке 1 показана принципиальная схема электропитания космического аппарата, где 1 – генератор (солнечная батарея); 2 – энергопреобразующий комплекс; 3 – блок аккумуляторных батарей; 4 – бортовой комплекс управления; 5 – наземный комплекс управления

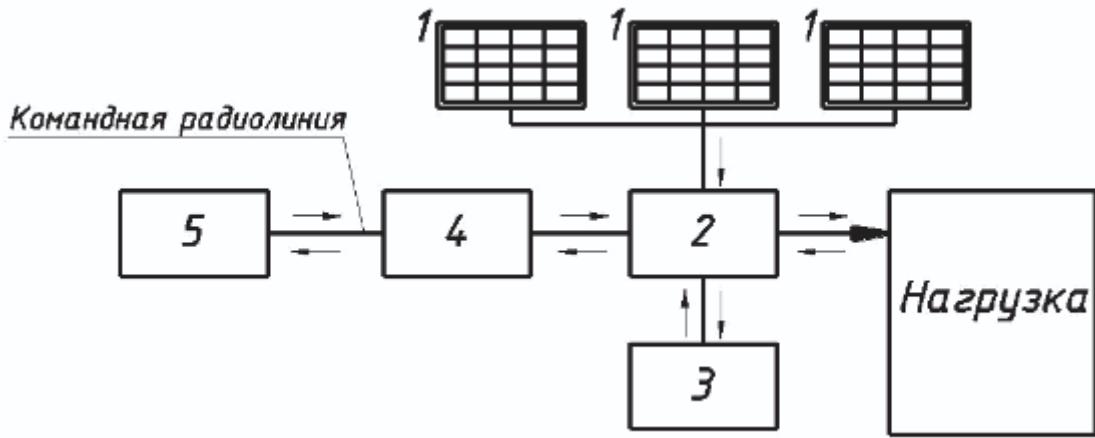


Рис. 1 Принципиальная схема электропитания КА

Благодаря высоким значениям отдаваемой мощности, сопоставимой с возможностями конденсаторов при больших значениях удельной энергии, суперконденсаторы (СК) находят все большее применения в различных отраслях. Главной возможностью СК является возможность достижения в них высоких значений удельного заряда и энергии на единицу массы при относительно высоких значениях мощностей зарядки и разрядки. [3]

Как накопители электрической энергии, СК характеризуются следующими достоинствами [3] :

- Высокая удельная мощность как объемная, так и массовая (до 1000 Вт/г);
- Быстрая подзарядка
- Высокий КПД – до 95%
- Возможность получения больших пусковых токов

На борту летательных аппаратов присутствует большое количество электропотребителей, работающих в периодическом кратковременном режиме, для питания которых возможно использование суперконденсаторов, например, на суперлайнере А-380 (и некоторых других типов воздушных судов) для аварийного открывания дверей предусмотрено применения именно блока суперконденсаторов. На каждом аварийном выходе самолета А-380 установлены блоки из 54 СК элементов общей мощностью 130 Вт [3].

Суперконденсаторы снижают нагрузку на Li-Ion батареи в системах управления полётом (FCAS), продлевая срок службы за счёт миллионов циклов заряд-разряд и безопасности без риска теплового разгона [5]. Гибридные блоки (батареи + суперконденсаторы) оптимизируют массу для UAV и гражданской авиации, обеспечивая

мощные импульсы на взлёте. СК так же используются для стабилизации напряжения и подавления помех, возникающих при работе импульсных преобразователей.

В отличие от авиации, космические аппараты функционируют в уникальной среде, где требования к удельным характеристикам энергонакопителей многократно возрастают. СК используются в ключевых подсистемах космических аппаратов, например, первичный запуск установки после вывода КА на расчетную орбиту от неподвижного состояния до номинального режима осуществляется с помощью суперконденсаторов (ионистор) [4]. В процессе работы ионистора не происходит химических превращений веществ, поэтому ресурс системы может превышать 100 000 циклов заряда разряда [2].

Гибридные накопители на основе литий-ионных батарей и блоков суперконденсаторов обеспечивают запитку пироустройств возвращаемых КА при спуске и посадке, выдавая большую кратковременную мощность на фоне стационарной нагрузки. Моделирование проведено авторами [6] подтвердило, что блок СК справляется с импульсами до 235А в течение 0,1с без падения напряжения ниже 29.6В. Это свидетельствует о том, что блок суперконденсаторов способен обеспечить кратковременное питание всей нагрузки перспективного ВКА в течение 0,1 с без падения напряжения ниже напряжения аккумуляторной батареи. [6]

## Вывод

Применение суперконденсаторов в авиации и космической технике обусловлено возможностью дополнять традиционные аккумуляторные батареи. Ключевая роль СК в авиации – разгружение работы основных батарей и повышение надёжности критическим систем. В космических аппаратах суперконденсаторы становятся незаменимыми для импульсных нагрузок систем управления спуском, где важны выдаваемая мощность и ресурс.

Список использованных источников:

1. D. M. Soares, C. A. C. Sequeira, J. P. S. Sousa Opportunities and challenges of redox-flow batteries and solar fuels for electricity storage and carbon-neutral fuels production // *Energy Environ. Sci.* [Электронный ресурс]. 2025. URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2025/ee/d5ee02865e> (дата обращения: 5.12.2025).
2. Троценко А. С., Бородин А. Ю. Обзор технологий накопления электрической энергии для энергетических установок летательных аппаратов // *Научный вестник МГТУ ГА*. 2013. № 196. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35222989> (дата обращения: 5.12.2025).

3. Рубанов С. Ю., Шамин А. Е. Методика оценки характеристик гибридной аккумуляторной батареи для систем электроснабжения летательных аппаратов // *Труды Московского авиационного института*. 2017. № 92. [Электронный ресурс]. URL: <https://mai.ru/upload/iblock/dea/759n5hijcrf0nw0cc3sw2k1opjon9ffv/19.pdf> (дата обращения: 5.12.2025).
4. Вышков Ю. Д., Резников С. Б. Применение суперконденсаторов в системах пуска авиационных двигателей // *Вестник Московского авиационного института*. 2017. Т. 24. № 1. С. 105–115. [Электронный ресурс]. URL: <https://mai.ru/publications/index.php?ID=81541> (дата обращения: 5.12.2025).
5. Opportunities of supercapacitors for space applications [Электронный ресурс] // *EPCI 2024 (European Passive Components Institute)*. URL: <https://epci.eu/opportunities-of-supercapacitors-for-space-applications/> (дата обращения: 5.12.2025).
6. Кузнецов И. В., Резниченко К. О., Сираев Р. Р. Анализ перспективности использования суперконденсаторов в качестве буферного накопителя энергии на летательных аппаратах // *Лестница в будущее: молодежь в науке. Всероссийская научная конференция. Сборник статей*. Москва, 2019. С. 39–48. [Электронный ресурс]. URL: [https://les-vest.mf.bmstu.ru/les\\_vest/2019/4\\_2019/39-48.pdf](https://les-vest.mf.bmstu.ru/les_vest/2019/4_2019/39-48.pdf) (дата обращения: 5.12.2025).

### **Водородные БПЛА – обзор технологии и перспективы**

**Мартынов Владимир Константинович, Земсков Петр Андреевич**

Научный руководитель – Баранов А.М.

МАИ, Москва

**Ключевые слова:** БПЛА, водород, дрон, питание, энергия, эффективность

В условиях постоянного развития цифровых технологий и растущей потребности в автономном мониторинге одной из главных проблем развития беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) остаётся источник его питания. Популярные на рынке литий-ионные (Li-ion) аккумуляторы обладают ограниченной энергоёмкостью, как правило, в пределах 50–260 Втч/кг. Этот физический предел сильно ограничивает продолжительность полёта большинства гражданских БПЛА 30–45 минутами, делая их менее эффективными для выполнения долгосрочных операций, требующих многочасового присутствия в воздухе на больших территориях.

Для преодоления этого барьера развивается технология водородных топливных элементов (ВТЭ). Силовые установки на базе ВТЭ показывают намного более высокую

удельную энергоёмкость, достигая значений в диапазоне 400–600 Втч/кг, что многократно выше показателей литий–ионных аккумуляторов. Это обеспечивает увеличение автономности в 2–4 раза по сравнению с лучшими аккумуляторными аналогами [1]. Помимо энергетических преимуществ, ВТЭ является чистой технологией, побочным продуктом которой на выходе является только водяной пар, позволяя работать в чувствительных природных или городских зонах без риска их загрязнения.

Однако переход на водород ставит перед инженерами другую проблему – масса полезной нагрузки (сжатого водорода) к массе хранилища (контейнера высокого давления) крайне мала. Так определяется эффективность водородного БПЛА. При использовании существующих технологий сжатого водорода (работающих при давлении 350–700 бар) удельный вес хранения — составляет 5–7%. Это означает, что вес композитного корпуса, клапанов и систем безопасности бака поглощает 93–95% общей массы топливной системы, что снижает эффективность использования водорода. Даже криогенное хранение жидкого водорода (LH<sub>2</sub>), требующее сложнейшей многослойной изоляции, доводит этот показатель лишь до 10–15% [2]. Следовательно, приоритетным направлением научно-исследовательской работы является разработка сверхлёгких, но сверхпрочных композитных материалов для ёмкостей, способных обеспечить весовую долю ниже текущей.

Водородные БПЛА способны кардинально изменить экономику их эксплуатации в ряде отраслей. Они незаменимы для проверки линейной инфраструктуры (тысячи километров трубопроводов и ЛЭП), где необходимость частой смены батарей делает аккумуляторные БПЛА нерентабельными. В сфере безопасности и поисково-спасательных операций водородные платформы могут обеспечивать непрерывное патрулирование в течение половины рабочего дня, значительно повышая вероятность обнаружения цели.

Перспективным также является сегмент логистики на средние и дальние дистанции, где вес батарей, необходимых для достижения дальности свыше 100 км, становится неприемлемым [3].

В заключение важно отметить, что переход к водородным топливным элементам означает переход от БПЛА, пригодных для коротких миссий и требующих постоянной подзарядки, к долгосрочным платформам. Успех этой трансформации напрямую зависит от инноваций в области хранения и создания доступной инфраструктуры заправки зелёным водородом, что в перспективе обещает значительное изменение рынка беспилотных технологий.

Список используемых источников:

- 1) Евстигнеев, А. М. Разработка энергосистемы летательного аппарата на водородных топливных элементах / А. М. Евстигнеев // Электропитание. – 2020. – № 4. – С. 14-21.
- 2) Сергеев, И. А. Беспилотные летательные аппараты с водородными топливными элементами / И. А. Сергеев, А. А. Косова, С. В. Сенин // Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли : Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, Казань, 08–10 августа 2018 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, 2018. – С. 75-77.
- 3) Эссельбах, Р. В. Перспективы применения водородных топливных элементов в БПЛА самолетного, коптерного и смешанного типов / Р. В. Эссельбах, Д. П. Дзюба, С. А. Горельников // Инновации и информационные технологии в условиях цифровизации экономики : Сборник тезисов III международной научно-практической конференции, Алчевск, 24–25 апреля 2025 года. – Алчевск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Донбасский государственный технический университет", 2025. – С. 413-414 Сергей Филипов, Андрей Голодницкий, Алексей Кашин – топливные элементы и водородная энергетика

**Обобщённые критерии эффективности и прогноз развития двигательных установок  
авиационной и космической техники**

**Ошарин Валентин Павлович, Одинцов Андрей Вячеславович**

МАИ, Москва

Ключевые слова: двигательная установка, классификация, анализ, тенденции, критерии, прогноз

Современное состояние двигателестроения подразумевает наличие большого количества категорий и классификаций двигателей по различным принципиальным, конструктивным или иным признакам. В данной работе предлагается обратить внимание на одну из самых значительных и основных классификаций - классификация по способу преобразования энергии. В работе сформулированы критерии оценки эффективности двигателей и приведена аргументация по вопросу, почему же не существует универсального и самого “лучшего” двигателя. А также предложен прогноз направления будущего развития двигательных установок в аэрокосмической нише.

Для оценки использованы следующие типы двигателей: двигатели внутреннего сгорания (ДВС), электродвигатели, газотурбинные двигатели (ГТД), жидкостные ракетные

двигатели (ЖРД). Для оценки эффективности целесообразно использовать удельные параметры (абсолютные характеристики, отнесенные к массе двигателя, расходу и др.). Приведены основные из них:

1. Удельный импульс:  $I = \frac{P}{\frac{dm_T}{dt}}$
2. Удельная тяга:  $\gamma = \frac{P}{m_{cy}}$
3. Рабочий диапазон скоростей (от минимального до максимального числа М)
4. Рабочий диапазон высот (от минимального до максимального числа М)
5. Расход топлива [кг\*кгс/ч]:
6. Температурные режимы [К]:
7. Энергетическая плотность топлива (дж/кг):
8. Тип топлива (моно- ди- т.д.):
9. Уровень шума [дБ]:
10. Выбросы (оксидов азота, СО, несгоревшие углеводороды) [мг/ч]
11. Тепловая заметность
12. Скорость дросселирования (приемистость) [ $c^{-1}$ ]
13. Габаритно-массовый коэффициент (плотность компоновки)
14. Ресурс [ч]
15. Требования к инфраструктуре (топливо, масла, температура запуска)
16. Стоимость жизненного цикла (статистически):

На основе критериев, проведён упрощенный сравнительный анализ эффективности двух типов двигателей: ДВС и ГТД.

Табл.1 (Сравнительный анализ эффективности двигателей)

Критерий	ДВС	ГТД
Удельный импульс [с]	200–300	800–1500
Удельная тяга [Н/кг]	50–100	300–500
Диапазон скоростей (М)	0–0.6	0.3–2.0
Диапазон высот [км]	0–5	0–20
Расход топлива [кг/кгс·ч]	0.25–0.4	0.6–1.0
Требования к инфраструктуре	Минимальные	Специализированные условия и квалифицированный персонал

Используя подобранные критерии, можно сделать вывод, что ДВС эффективен для малой авиации ввиду низкого расхода и простой инфраструктуры, но не пригоден для

реактивных скоростей ограниченного диапазона высот. ГТД, в свою очередь, преобладает в коммерческой авиации, но требует специальных условий эксплуатации и потребляет сравнительно большее количество топлива.

На примере, продемонстрированы преимущества и недостатки обоих типов двигателей в определённом контексте и сформулирована точка зрения о невозможности создания универсального двигателя. Показано, что целесообразность использования двигателя зависит от набора характеристик двигательной установки (ДУ), невозможно создать конструкцию, идеально соответствующую критериям всех возможных задач.

Тенденции авиации и космонавтики проявляются не только в количественном увеличении показателей: повышение скорости, дальности и высоты полета, увеличение массы полезной нагрузки и т.д., но и в качественном изменении функциональности аппаратов - современные ЛА и КА более универсальны чем их предшественники. Это обусловлено и экономическими причинами (один мультифункциональный аппарат дешевле нескольких специализированных) и тактическими (часто возможно использовать только одну единицу техники). Функциональность авиационной и аэрокосмической техники во многом зависит от характеристик силовой установки, поэтому развитие будет идти как по пути улучшения имеющихся, так и по пути создания новых, более универсальных конструкций.

Основываясь на существующих решениях, современных задачах, а также тенденциях последних лет, можно предположить, что будущее ДУ будет строиться на трех путях развития:

1. Кардинальное качественное улучшение существующий конструкций за счет применения инновационных решений. Уже существуют современные концепции, подтверждающие перспективность данного направления. Например, ТРД с безлопастным компрессором или турбоэлектрический адаптивный двигатель.
2. Гибридизация, основанная на использовании конструкций, включающих в себя несколько различных типов двигательных установок. При этом гибрид сочетает и недостатки составляющих его типов, но иногда они менее существенны чем полученные преимущества.
3. Разработка совершенно новых экспериментальных типов двигательных установок. Это направление самое спорная тема для обсуждения, так как проекты в нём находятся на этапе концепций или экспериментальных образцов и не прошли реальной проверки временем в эксплуатации, в следствии чего, сложно утверждать о эффективности той или иной конструкции, однако уже существуют интересные и перспективные

концепции, такие как: ротационный детонационный двигатель (высокая термодинамическая эффективность, низкий расход топлива, однако высокая сложность эксплуатации) или безэлектронный плазменный двигатель (высокий удельный импульс, высокий ресурс в сравнении с большинством плазменных двигателей, но низкая, по сравнению с химическими двигателями, тяга).

**Модельно-методический аппарат формирования облика легкого самолета-штурмовика с учетом возможностей базирования**

**Перовский Денис Дмитриевич, Скрипниченко Юрий Станиславович**

Научный руководитель - Малафеев И.В.

МАИ, Москва

**Ключевые слова:** Оценка эффективности, авиационный боевой комплекс, самолет-штурмовик, системный анализ, математическое моделирование, исследование операций, комплекс авиационного вооружения, обликовая синтез-модель, программный комплекс, аэродром подсюка.

В настоящее время высока вероятность возникновения новых локальных вооруженных конфликтов с применением авиации по всему миру. Ключевую роль в таких столкновениях часто играет самолет-штурмовик, являясь основным авиационным боевым комплексом в основном для поддержки войск и решения ряда других задач. На сегодняшний день данная техника представляет интерес не только для собственных вооруженных сил, но и в качестве экспортного продукта и должна обладать высокой боевой эффективностью. Для обоснования рациональных обликовых характеристик таких летательных аппаратов требуется специальный инструментарий, позволяющий формировать эти характеристики и оценивать боевую эффективность различных альтернатив в условиях локальных конфликтов.

Разработка рационального технического облика легкого штурмовика должна основываться на анализе альтернативных технических решений и возможных конфигураций интегрированных подсистем. Этот анализ необходимо проводить на основе оценки эффективности авиационного боевого комплекса (АБК) при решении целевых задач с учетом существующих ограничений в том числе для прогнозируемых условий применения.

Боевые действия против регулярных войск, бандформирований и террористических группировок отличаются, в первую очередь, высокой динамичностью. Именно поэтому при проектировании штурмовика важно учитывать возможность его базирования на временных аэродромах (в том числе аэродромах подсюка). Это позволяет сократить время на выполнение боевой задачи и осуществлять вылеты с точек, неизвестных противнику.

Целью данной работы стала разработка модельно-методического аппарата формирования облика легкого самолета-штурмовика (ЛСШ) с учетом возможностей базирования. В рамках задачи была сформирована система показателей для оценки эффективности ЛСШ, система ограничений, а также проведен анализ условий его применения. Разработанный модельно-методический аппарат включает в себя следующие элементы:

- синтез-модель для формирования облика самолета-штурмовика;
- систему моделей для оценки эффективности ЛСШ;
- модель для оценки эффективности группировки авиакомплексов в конфликтной ситуации;
- блок выбора рациональных обликовых характеристик ЛСШ.

Модельно-методическим аппаратом позволяет формировать характеристики альтернативных вариантов штурмовика, а также оценивать эффективность его боевого применения в различных операциях с разными вариантами вооружения.

Обликовая синтез-модель позволяет создавать альтернативные варианты характеристик легкого самолета-штурмовика для основных рассматриваемых параметров: дальность, масса целевой нагрузки, дистанция разбега/пробега и др. На выходе модели получаются основные тактико-технические характеристики, которые поступают систему моделей оценки эффективности ЛСШ.

Оценка эффективности самого ЛСШ и однородной группировки для выполнения задач в конфликтной ситуации проводится на соответствующих моделях. С помощью них можно получить следующие показатели эффективности: полигонный и боевой наряд АБК, размер группировки для выполнения совокупности задач для рассматриваемого периода ведения боевых действий с учетом потерь при выполнении боевых вылетов и потерь при базировании. Могут быть определены интегральные показатели боевой эффективности, такие как боевой потенциал группировки ЛСШ, а также качественный и количественный состав группировки для рассматриваемых альтернативных вариантов ЛСШ. Так же могут быть исследованы различные варианты состава боекомплекта для поражения наземных целей, различные тактики применения ЛСШ при выполнении расчетных боевых задач, могут быть подобраны рациональные требования к базированию ЛСШ.

На основе разработанного модельно-методического аппарата был разработан программный комплекс, структурная схема которого представлена на рисунке 1.

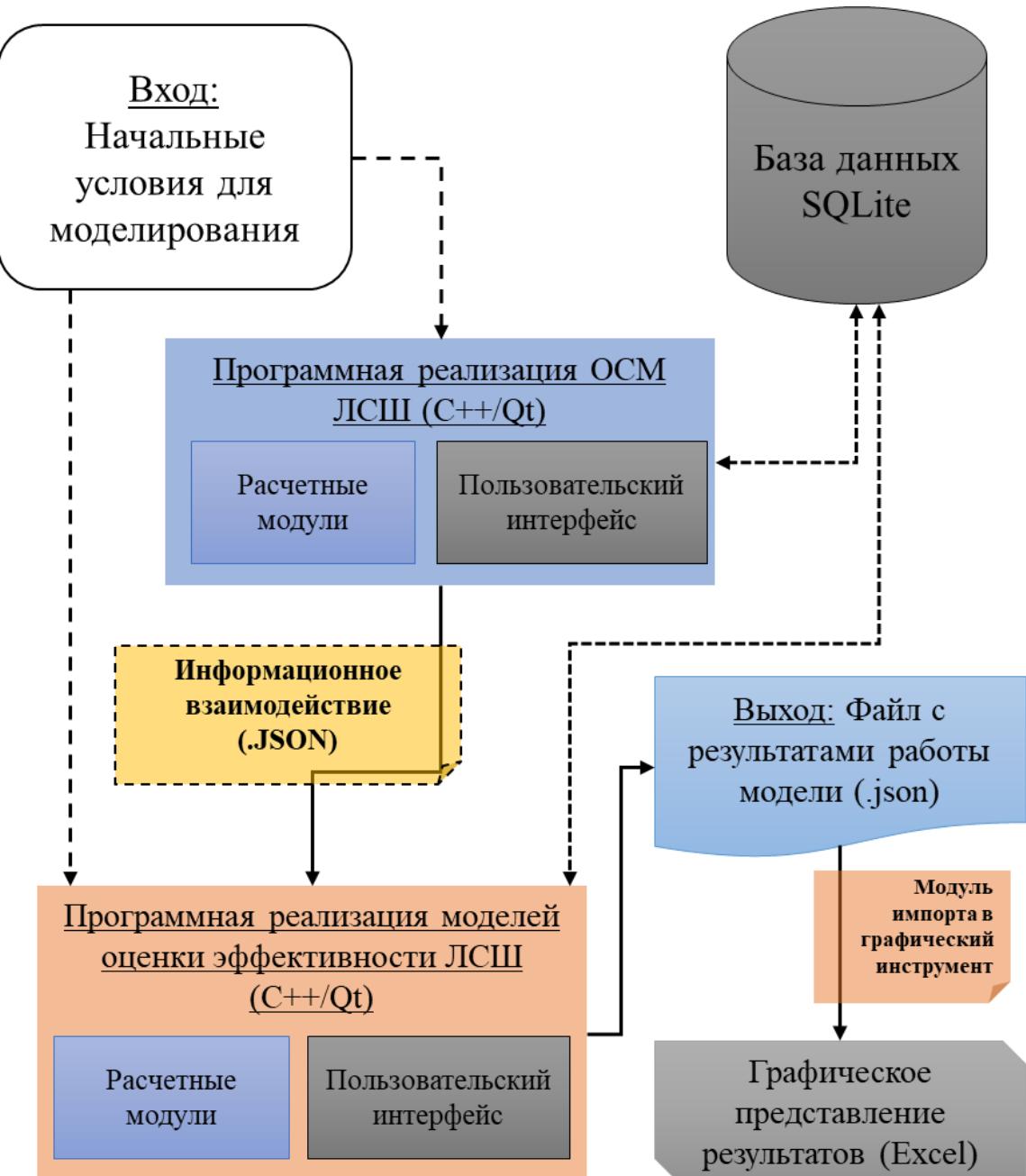


Рис. 1 – Структурная схема программного комплекса

Комплекс разработан на языке программирования C++ с использованием фреймворка Qt и СУБД SQLite. Информационное взаимодействие между элементами программного комплекса осуществляется в форматах json. Существует возможность просмотра результатов работы комплекса в программной среде MS Excel.

В ходе работы была проведена серия модельных экспериментов, демонстрирующая работоспособность модельно-методического аппарата, в которых получены рациональные обликовые характеристики ЛСШ и оценки эффективности его применения для рассматриваемых локальных конфликтных ситуаций.

**Список использованных источников:**

1. Жеребин А.М., Егрищин М.А., Савинков Н.Т., Скрипниченко Ю.С., Малафеев И.В. Концепция обоснования функционально-технических характеристик авиационных боевых комплексов и вооружения // Передача, приём, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах: Сборник статей, Сочи, 01–10 октября 2024 года. – Москва: ИД Академии Жуковского, 2025. – С. 176-181.
2. Топоров Н.Б., Скрипниченко Ю.С., Малафеев И.В., Вавилов Д.С., Русак М.А. Комплекс ситуационного моделирования как основа системы поддержки принятия решений в области авиастроения в современных условиях Физико-техническая информатика (СРТ2021-2022): Материалы Международной конференции, Пущино, 16–20 мая 2022 года. – Нижний Новгород-Москва-Пущино: Автономная некоммерческая организация в области информационных технологий "Научно-исследовательский центр физико-технической информатики", 2022. – С. 114-119.
3. Ивенин И.Б., Малафеев И.В., Свободин В.С., Скрипниченко Ю.С. Моделирование конфликта в поддержку задач внешнего проектирования перспективной авиационной техники // Моделирование авиационных систем: Сборник тезисов докладов V Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 29–30 ноября 2023 года. – Москва: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2023. – С. 29-30.
4. Васильев С.С., Скрипниченко Ю.С., Филатов И.И. Система математических моделей оценки эффективности нанесения ущерба наземным целям // Сборник докладов. АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В XXI ВЕКЕ, 2017, С. 162-168.
5. Ермолаева Е.А., Скрипниченко Ю.С. Разработка модельно-методического аппарата для решения задачи рационального распределения ресурсов оперативно-тактической авиации // Сборник докладов АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В XXI ВЕКЕ, 2017, С. 155-161.
6. Левков В.Г., Скрипниченко Ю.С. Система моделей формирования обликовых характеристик самолета штурмовика // Сборник тезисов докладов. Авиация и космонавтика – 2017. МАИ, 2017, С. 36-37.
7. Малафеев И.В., Скрипниченко Ю.С., Перовский Д.Д., Топоров Н.Б. Программный комплекс для формирования облика легкого самолета-штурмовика с учетом возможностей базирования // В книге: Моделирование авиационных систем. Сборник тезисов докладов V Всероссийской научно-технической конференции. Москва, 2023. С. 32-34.

**Система управления 6-осевым роботом-манипулятором по протоколу CANopen**  
**Петров Андрей Валерьевич**

Научный руководитель — Васильев Ф.В.

МАИ, Москва

Ключевые слова: Робот-манипулятор, система управления, CANopen, STM32, Сервомоторы

В современной робототехнике существует потребность в доступных системах управления для образовательных и исследовательских лабораторий. Согласно данным Министерства промышленности и торговли РФ, к 2030 году планируется достичь 125 тыс. промышленных роботов. Однако существующие образовательные платформы (WLKATA Mirobot, myCobot 280) либо имеют высокую стоимость, либо производятся за рубежом.

Целью работы является разработка доступной системы управления на базе существующего шестиосевого робота-манипулятором с использованием протокола CANopen и микроконтроллера STM32, обеспечивающей синхронизированное движение всех осей. На каждой оси робота установлен серводвигатель с интегрированным абсолютным энкодером, драйвером и волновым редуктором. Робот обеспечивает точность позиционирования около  $\pm 0,15$  мм, скорость перемещения до 0,6 м/с и грузоподъёмность около 1,5 кг, а длина робота в максимально развернутом положении составляет 0,8 метра. На рисунке 1 представлено изображение робота.

На рисунке 2 представлена аппаратная архитектура системы управления.



Рис. 1 — Изображение робота

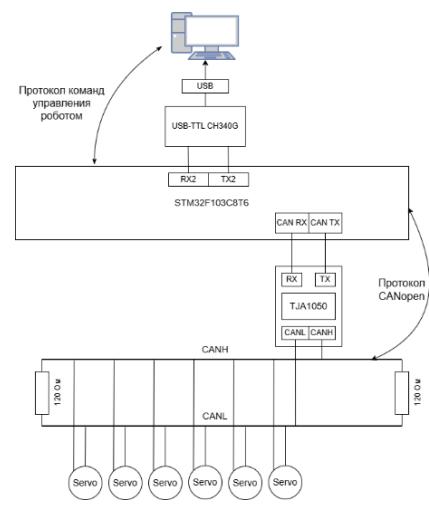


Рис. 2 — Аппаратная архитектура

Система управления построена вокруг микроконтроллера STM32, который является центральным элементом, осуществляющим обработку команд пользователя, управление моторами и обратную связь. Пользовательский ПК взаимодействует с STM32 через

последовательный интерфейс UART, по которому передаются текстовые команды в формате MAJ/MRJ и получаются ответы с информацией о текущем состоянии системы.

Микроконтроллер STM32 обрабатывает команды, преобразует их в управляющие сообщения протокола CANopen и передает их через CAN-шину к сервомоторам робота. Все шесть осей манипулятора подключены к CAN-шине с уникальными идентификаторами, что позволяет STM32 динамично управлять каждым мотором в режиме реального времени.

Обратная связь от моторов (текущие положения, скорости, статус) собирается по CAN-шине и передается обратно в STM32, который обновляет внутренний объектный словарь и при необходимости корректирует управление для достижения высокоточной синхронизации.

Система поддерживает два основных формата команд: MAJ (Move Absolute Joint — абсолютное движение осей) и MRJ (Move Relative Joint — относительное движение осей). Команды передаются по UART в текстовом формате с разделителями пробелов и завершаются символом новой строки. Пример команды приведен на рисунке 3.

**MAJ JA10.0 JB20.0 JC30.0 JD40.0 JE50.0 JF60.0 SP15.0 AC250.0**

Рис. 3 — Пример команды оператора для перемещения в абсолютное положение

В команде есть следующие параметры:

- JA-JF — целевые углы осей A-F ( $\pm 180^\circ$ )
- SP — скорость мотора, которому необходимо пройти максимальный путь (0-100% от максимальной скорости моторов)
- AC — ускорение мотора, которому необходимо пройти максимальный путь (0-100% от максимального ускорения моторов)

Критическая задача — обеспечить одновременное прибытие всех 6 осей к целевым позициям при заданных пользователем максимальной скорости и ускорении. Пользователь в команде указывает параметры SP (максимальная скорость) и AC (максимальное ускорение), которые определяют ограничения для всей траектории.

Алгоритм определяет ведущую ось. Ведущей является та ось, которая должна пройти наибольший путь. Чтобы вычислить наибольший путь система сначала переводит единицы измерения команды оператора в единицы измерения, понятные моторам: градусы переводятся в шаги энкодера; градусы/секунду переводятся в обороты/минуту; градусы/секунду<sup>2</sup> переводятся в обороты/(минуту\*секунду). После преобразования единиц система сравнивает перемещения всех осей (ось A: 3600 шагов, ось B: 1800 шагов, ось C: 1200 шагов) и определяет ведущую ось, после чего вычисляет время движения и индивидуальные скорости для синхронизации остальных осей. Далее система формирует PDO-пакеты CANopen для каждого мотора, устанавливая индивидуальные параметры (целевая позиция, скорость, ускорение),

последовательно отправляет их на CAN-шину, а затем передает синхро-сигнал для одновременного начала движения всех моторов.

Одной из ключевых задач после обеспечения синхронизации осей стало устранение колебаний сервомоторов вокруг целевой позиции, что приводило к нестабильности движения, перерегулированию до 35% и разбросу позиций  $1,8^\circ$ . Для устранения колебаний сервомоторов применен метод Ziegler-Nichols. Методология: последовательно увеличивали коэффициент пропорциональности  $P$  до устойчивых колебаний, измеряли период  $P_u$  и критическое значение  $K_u$ , вычисляли оптимальные параметры по формулам:  $K_p = 0,45 \times K_u$ ,  $K_i = 1,2 \times K_p / P_u$ . Результаты настройки значительно снизили тряску моторов. Для дальнейшего улучшения проводился систематический перебор значений  $K_p$  и  $K_i$  в окрестности найденных параметров, что позволило достичь лучшей точности.

Результатом работы является система управления шестиосевым роботом-манипулятором на базе микроконтроллера STM32F103C8T6 и протокола CANopen, полностью решающая поставленные задачи. Достигнуто синхронизированное управление всеми шестью осями и одновременным прибытием к целевым углам. Реализована обработка текстовых команд MAJ/MRJ с автоматическим преобразованием единиц измерения. Система поддерживает масштабирование до 127 моторов на одной CAN-шине.

#### **Список использованных источников:**

1. CiA 301 v. 4.02 CANopen. Application Layer and Communication Profile: 13.02.2002. — 135 С. — URL: [https://doc.ioot.pro/\\_downloads/744ecdbdca5af7b419b8f5463f6f1b29/ds301.pdf](https://doc.ioot.pro/_downloads/744ecdbdca5af7b419b8f5463f6f1b29/ds301.pdf) (дата обращения: 25.07.2025).
2. ПИД Регулятор. Alex Gyver — URL: <https://alexgyver.ru/lessons/pid/> (дата обращения: 08.12.2025).
3. Stepper motor 17HS15-1684D-EG10-AR4. Datasheet. — URL: <https://www.omec-stepperonline.com/upgraded-ar4-robot-complete-electric-package-ar4-mk3-stepper-motor-driver-and-power-supply-ar4-mk3> (дата обращения: 03.10.2025)
4. CANFestivino Library. — URL: <https://github.com/jgeisler0303/CANFestivino> (дата обращения: 25.07.2025).

#### **Взаимосвязь дожигания топлива и структуры течения в донной области тела**

**Поляков Лев Викторович**

Научный руководитель - Шилин П.Д.

ТулГУ, Тула

Ключевые слова: донный газогенератор, аэродинамика, тело, воздушный поток, донное сопротивление, изделие, летательный аппарат.

Современные требования к летательным аппаратам, связанные с минимизацией аэродинамического сопротивления, актуализируют исследования процессов в донной области. При использовании донного газогенератора (ДГГ) ключевым фактором эффективности становится взаимосвязь между дожиганием топлива и структурой формирующегося течения [1, 2].

В случае неполного сгорания в камере ДГГ в донную область истекает химически активная среда, содержащая горючие компоненты. Их последующее дожигание при смешении с кислородом воздуха приводит к интенсивному тепловыделению, что существенно влияет на структуру течения: изменяет конфигурацию вихревых зон, границы рециркуляционной области и распределение давления. Таким образом, воздействие ДГГ на обтекание складывается не только из механического поддува, но и из термохимического подогрева, который напрямую определяет перестройку течения.

Однако в большинстве существующих моделей течение в донной области описывается без учета химической кинетики дожигания, что не позволяет адекватно оценить его влияние на вихревую структуру и динамику газа. Установление количественных закономерностей взаимосвязи дожигания и эволюции течения является актуальной задачей.

Для верификации данного подхода и оценки влияния химического дожигания на давление в донной области проведено численное моделирование. Моделирование процесса было выполнено в программном комплексе Ansys Fluent. В качестве объекта исследования была построена расчётная область в программе SolidWorks (рис. 1). Моделирование проводилось для осесимметричной цилиндрической конструкции, имеющей максимальный радиус  $R$ , в плоской постановке. [4].

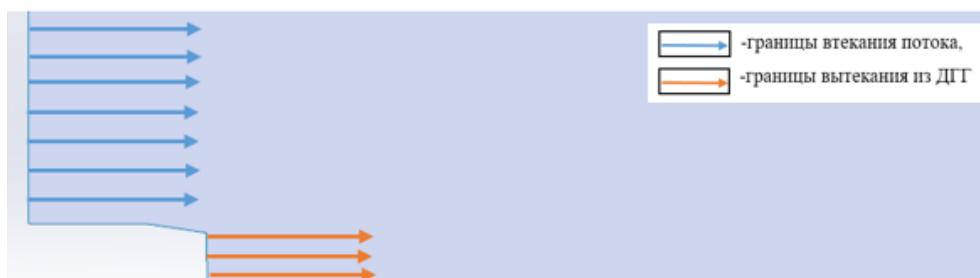


Рис. 1. Расчётная область

Область представляет собой донный срез изделия. В кормовой части расположен ДГГ.

Для точного понимания различия в полученных результатах, моделирование проводилось при трёх разных условиях:

- без работы ДГГ;
- с выключенной моделью химической реакции;

- с включенной моделью химической реакции;

После расчёта были получены картины течения газа с учётом различных факторов. Результаты представлены на рисунке 2.

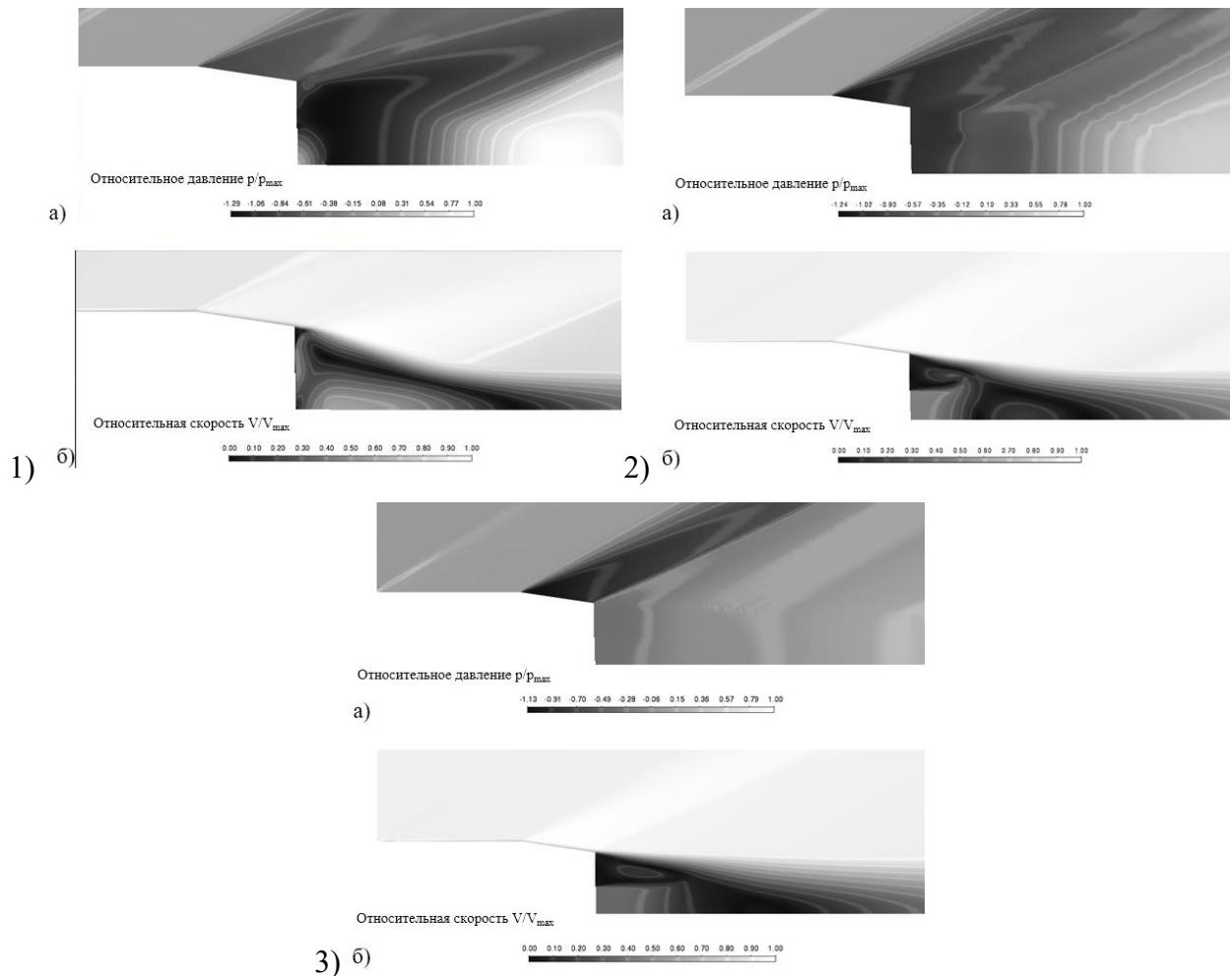


Рис.2. Результаты моделирования

1-без работы ДГГ;2-без учета дожигания компонентов;3- с учётом полного дожигания компонентов; а) статическое давление; б) скорость потока;

На полученных картинах течения заметна сильная разница давления на данном срезе изделия.

Газовая струя от ДГГ при полном дожигании заполняет область разрежения, возникающую за донным срезом, повышая в ней давление. Данное явление снижает сопротивление воздуха в данной области, тем самым улучшая характеристики тела

Использование полного дожигания компонентов топлива, выходящего из ДГГ, на 13% улучшает характеристики тела.

Проблема повышения энергетического потенциала ЛА активного старта непосредственно связана с оптимизацией работы донного газогенератора. Проведенный анализ показывает, что взаимосвязь полноты дожигания компонентов топливной смеси и

формирующейся структуры течения в донной области является ключевым фактором, определяющим аэродинамическую эффективность ДГГ.

Список использованных источников:

1. Ветров В.В. и др. Реализация концепции повышения баллистической эффективности летательных аппаратов ближней зоны // Фундаментальные исследования. 2012. № 11 (часть 2). С. 377-382. 5. Ветров В.В. и др. Баллистическая эффективность летательных аппаратов. Тула: ТулГУ, 2023. 217 с.
2. Ветров В.В. и др. Баллистическая эффективность летательных аппаратов. Тула: ТулГУ, 2023. 217 с.
3. Aziz, M. M., Ali, K. R., & Rahmat, M. (2020). Multi-fidelity drag prediction for base bleed projectile. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 973, p. 012036). IOP Publishing.
4. Кузнецов, В. А. Гидрогазодинамика : учебник для вузов / В. А. Кузнецов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 120 с.

**Роль терминологии в понимании ключевых тенденций  
и проблем развития космической отрасли  
Попова Светлана Евгеньевна**  
Научный руководитель — Власова С.В.

МАИ, Москва

Ключевые слова: иноязычная профессиональная коммуникация, аэрокосмические инновации, словарь специальности, технический перевод.

Актуальность темы обусловлена тем, что развитие пилотируемой космонавтики и усложнение конструкций космических скафандров отражают ключевые тенденции аэрокосмической отрасли. Современные программы требуют не только технологических инноваций, но и эффективной международной кооперации, что повышает значимость унифицированной профессиональной терминологии. В условиях постоянной модернизации систем жизнеобеспечения и оборудования для внекорабельной деятельности будущие инженеры должны владеть не только специальными знаниями, но и иноязычной профессиональной коммуникацией, необходимой для работы с международными источниками и участия в совместных проектах. [1]

Однако результаты подготовки показывают, что значительная часть студентов испытывает трудности при использовании узкоспециализированной терминологии, что ограничивает их способность понимать современные технологические разработки и участвовать в научно-техническом обмене. [2] Это формирует противоречие между

потребностями аэрокосмической индустрии в специалистах для быстрого технологического процесса и уровнем владения профессиональной лексикой выпускниками инженерных программ. [3]

Цель работы заключается в определение роли русскоязычной и иноязычной специализированной терминологии в осмыслении современных тенденций и технологических вызовов космической отечественной космической отрасли, оценить уровень владения профессиональной лексикой у студентов аэрокосмических специальностей, а также в разработке практико-ориентированного электронного словаря, направленного на укрепление их иноязычной профессиональной компетентности и обеспечение преемственности национальных достижений в пилотируемой космонавтике.

Теоретические методы исследования: изучение трудов учёных, анализ материалов тематики «Космические скафандры». Эмпирические методы: отбор и систематизация терминов, анкетирование закрытого типа.

Анализ трудов Комиссарова В. Н., Виноградова В. С., Гарбовского Н. К., Климзо Б. и Красновой Т. И. подтвердил, что в условиях стремительного развития аэрокосмических технологий критически важным становится регулярное обновление профессионального словаря.[4, с.8] Исследователи подчеркивают необходимость систематического расширения терминологической базы и формирования у инженеров устойчивых навыков работы с узкоспециализированной иноязычной лексикой, включая перевод терминов, описывающих сложные технические процессы и оборудование. [5, с.16]

Для оценки уровня владения специализированной терминологией был проведено тестирование среди 53 студентов, включавший задания формата «Выберите корректный вариант перевода» и «Приведите примеры узкоспециальной лексики». Полученные результаты (средний показатель — 31%) выявили недостаточность сформированности терминологической базы и подтвердили необходимость разработки специализированного словаря по теме «Скафандры для выхода в открытый космос», отражающего современные тенденции развития пилотируемой космонавтики.

Отбор лексических единиц проводился на основе анализа материалов Roscosmos, NASA, ESA и CNSA, эксплуатационных мануалов по скафандрам «Орлан» и «Беркут», а также англоязычных научных и научно-популярных статей, включая Space Gloves and EVA Suits Design, What Happens During a Space Walk, In Pictures: The Most Memorable Spacewalks in History и What Is a Spacewalk?. Такой подход позволил сформировать актуальный корпус терминов, отражающий историческое развитие и современные технические особенности систем обеспечения внекорабельной деятельности.

Разработанный электронный словарь включает четыре раздела: оглавление, теоретический блок, терминологический раздел и комплекс упражнений. В нём систематизированы 230 аббревиатур, связанных с конструкцией и подсистемами космических скафандров, а также 94 узкоспециализированных термина, представленных в алфавитном порядке. Интерактивный характер ресурса обеспечивается использованием цифровых форматов обучения: электронных кроссвордов, заданий типа brainstorm, true/false, role-play, matching, jigsaw, а также видеоупражнений, основанных на анализе схем и элементов EVA-оборудования. Такой подход делает словарь не только справочным, но и практико-ориентированным инструментом подготовки будущих инженеров аэрокосмической отрасли.

По итогам проведённого исследования сформулированы следующие основные выводы:

1. Интенсивное развитие ракетостроения и пилотируемой космонавтики вызывает необходимость постоянного обновления и расширения узкоспециализированной терминологии, отражающей современные технические решения и задачи отрасли.
2. Для формирования иноязычной профессиональной компетенции студентам аэрокосмических направлений, включая космическую медицину, необходимо систематически осваивать специализированную лексику, что является условием эффективного международного профессионального взаимодействия.
3. Тестирование показало, что большинство студентов обладают недостаточным уровнем владения профессиональной терминологией на иностранном языке, что ограничивает их способность работать с современными научно-техническими материалами.
4. Авторский электронный словарь с интерактивными заданиями рассматривается авторами, как эффективный инструмент эффективным инструментом повышения терминологической компетентности и мотивации к изучению иностранного языка.

#### **Список использованных источников:**

1. Указ о некоторых вопросах совершенствования системы высшего образования. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <http://kremlin.ru/acts/news/71118> (Дата обращения: 25.09.2025).
2. Polyakova T. Variety of Engineers' Needs in the Foreign Language Usage as a Basis for their Training Diversification. Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 214, 2015, p.p. 86-94, ISSN 1877-0428, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.598>. (Дата обращения: 19.09.2025)
3. Mukharlyamova, L., Konopleva, N., Galimzyanova, I., & Berezhnaya, I. (2018). Formation of the Intercultural Communicative Competence of Students in Process of Learning Foreign Languages. Journal of History Culture and Art Research, 7(4), 230-236. <https://doi.org/10.7596/taksad.v7i4>. (Дата обращения: 26.10.2025)

4. Лейчик М.В. Терминоведение: Предмет, методы, структура. Изд. 4-е. - М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009 - 256 с.

5. Климзо Б. Ремесло технического переводчика: Об англ. яз., пер. и переводчиках науч.-техн. лит. Москва : Валент, 2003 - 286 с.

**«Интегрированный подход к спасению на воде: разработка и создание модульного беспилотника – спасательного круга»**

**Радченко Илья Анатольевич**

Научный руководитель - Прокопенко Д.А.

МАИ, Москва

Ключевые слова: спасательный дрон, FPV, БПЛА, средства спасения на воде, модульный корпус, 3D-печать.

В статье представлена разработка и изготовление спасательного дрона FPV кольцеобразной (тораидальной) формы. Спасательный FPV дрон модульного типа. Является полноценным спасательным кругом речного типа. Установлен FPV модуль с контроллером ARDUPILOT..

Ежегодно в мире от утопления погибает около 236 000 человек, в России — порядка 4000. Скорость реагирования является критическим фактором для спасения жизни. Традиционные средства (лодки, катера) зачастую не могут оперативно достичь пострадавшего, особенно на больших водоемах или в труднодоступных местах.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) обладают значительным потенциалом для решения этой задачи благодаря своей мобильности и скорости. Однако существующие коммерческие спасательные дроны, такие как JX-6A или Water Rescue Robot R2, имеют высокую стоимость (от 6000 до 11000 долларов США), что ограничивает их широкое внедрение, особенно в бюджетных организациях или для оснащения мест массового отдыха у воды.

Целью данной работы являлась разработка и изготовление функционального прототипа спасательного дрона FPV с себестоимостью, не превышающей 400 долларов США, при сохранении ключевых эксплуатационных характеристик.

**1. Метод и подход к проектированию**

В основе проектирования лежали принципы модульности, ремонтопригодности и минимизации стоимости. Применялись методы теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), в частности:

- Принцип дробления: корпус разбит на 8 независимых секций, что упрощает ремонт и замену поврежденных элементов.

- Принцип объединения: однородные операции (сборка модулей, пайка) были объединены для оптимизации процесса изготовления.

- Метод фокальных объектов: использован для синтеза формы устройства, объединяющей функции квадрокоптера и спасательного круга.

- Принцип обратной связи: реализован через FPV-канал, GPS и систему телеметрии, обеспечивая оператору полный контроль над полетом.

Конструктивно дрон представляет собой кольцо (тор), что позволяет пострадавшему ухватиться за любую его часть. Для создания корпуса выбрана 3D-печать на принтере закрытого типа из ABS-пластика, обладающего необходимой прочностью и легкостью.

## 2. Реализация прототипа

### 2.1. Аппаратная часть

Корпус: 8 модульных секций, напечатанных из ABS-пластика.

- 2 Несущих модуля
- 4 Подъемных модуля
- Аккумуляторный отсек
- Модуль управления



Рис.1 – Схема устройства БПЛА

Технические характеристики дрона-спасателя:

- **Силовая установка:** 4 бесщеточных двигателя формата **3115** с **KV 900**, обеспечивающих высокую тягу и надежность.

- **Система управления:** Полётный контроллер **ArduCopter** — отработанная платформа с высокой надежностью и функциями автономного полета.

- **Энергосистема:** Плата распределения питания Matek PDB с разъемом XT60 для безопасного и надежного подключения аккумуляторов.
- **Система обзора:** Камера Geoscan FPV для передачи видео в реальном времени оператору.
- Аккумулятор 6S Li-po 6000mAh

Принцип работы: оператор, находясь на берегу с помощью FPV шлема и аппаратуры управления поднимает дрон в воздух и направляет его к потерпевшему. На низких оборотах снижает квадрокоптер и выключает моторы, человек хватает круг удобным для него способом, дожидаясь спасателей. Тем самым устройство является мерой первой помощи на воде. Ведется разработка системы распознавания образов для автоматизации процесса спасения.

**Список использованных источников:**

1. Всемирная организация здравоохранения. Утопление [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/drowning> (дата обращения: 15.09.2024).
2. Water Rescue Drone TY-3R (Flying Lifebuoy) [Электронный ресурс]. – URL: <https://didiokmaking.com/products/water-rescue-drone-ty-3r-flying-lifebuoy> (дата обращения: 10.10.2024).
3. Smart Emergency RC Lifebuoy Water Rescue Robot R2 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.jttrescue.com/smart-emergency-rc-lifebuoy-water-rescue-robot-r2\\_p28.html](https://www.jttrescue.com/smart-emergency-rc-lifebuoy-water-rescue-robot-r2_p28.html) (дата обращения: 10.10.2024).
4. Астахова Н. Л., Лукашов В. А. Дроны и их пилотирование. С чего начать. — СПб.: БХВ-Петербург, 2021. — 224 с.

**Разработка модельно-методического аппарата формирования рационального облика**

**беспилотной авиационной системы ретрансляции**

**на основе воздухоплавательных комплексов**

**Мыскин Дмитрий Николаевич, Савинков Никита Тимофеевич**

Научный руководитель - Русак М.А.

МАИ, Москва

Ключевые слова: математическое моделирование, беспилотное воздушное судно, оценка эффективности формирование рационального облика, беспилотная авиационная система, исследование операций, системный анализ, воздухоплавательный комплекс, аэростат, дирижабль, ретрансляция, гибридная силовая установка, показатель эффективности, системы связи.

В современных условиях развития информационных технологий и телекоммуникаций критически важным является обеспечение непрерывной и надежной связи, особенно в

труднодоступных регионах, зонах стихийных бедствий или при проведении специальных операций. Традиционные наземные и спутниковые системы связи не всегда могут гарантировать необходимое покрытие или оперативность развертывания.

Беспилотные авиационные системы (БАС) ретрансляции на основе воздухоплавательных комплексов (ВК), таких как аэростаты или дирижабли, предлагают перспективное решение этой проблемы. Аэростаты, в свою очередь, обладают рядом ограничений, связанных с развитием наземной инфраструктуры, и подверженности влиянию воздушных масс. Поэтому в данной работе рассматривается система ретрансляции на основе дирижаблей.

Способность дирижаблей длительное время находиться в воздухе на значительных высотах позволяет создавать устойчивые зоны покрытия. Однако формирование оптимального, или рационального, облика такой системы – сложная научно-техническая задача, требующая учета множества взаимосвязанных факторов, от параметров полезной нагрузки до требований к сети связи.

В рамках проведенной работы, была поставлена и решена задача формирования рациональных обликовых характеристик ВК длительного барражирования дирижабельного типа для осуществления ретрансляции. Было рассмотрено два вида платформ: первые используют только химическую энергию топлива, вторые (перспективные) используют гибридную силовую установку (ГСУ) с энергосистемой на солнечных элементах, размещенных на верхней поверхности оболочки дирижабля.

В качестве критерия выбора рационального облика рассматривается стоимость летного часа группировки ВК в составе БАС ( $C$ ).

$$x_{\text{ВК}}^* = \arg \min_{x_{\text{ВК}} \in X} C(x_{\text{ВК}}, x_{\text{р.б.}}); \quad (1)$$

при ограничениях в общем виде:

$$S_{\text{п}} \geq S_3; \quad (2)$$

где  $x_{\text{ВК}}^*$  — вектор характеристик рационального облика ВК;

$X$  — множество альтернативных обликов ВК;

$x_{\text{ВК}}$  — вектор характеристик варианта облика ВК;

$x_{\text{р.б.}}$  — вектор характеристик района барражирования;

$S_{\text{п}}$  — площадь покрытия группировкой БАС;

$S_3$  — площадь территории, которую необходимо покрыть.

Для исследований было принято:

$$x_{\text{ВК}} = (U, T_{\text{барр}}, H_{\text{барр}}, m_{\text{ц.н.}}); \quad (3)$$

где  $U$  — объем корпуса дирижабля;

$T_{\text{барр}}$  — время барражирования;

$H_{\text{барр}}$  — высота барражирования;

$m_{\text{ц.н.}}$  — масса целевой нагрузки (оборудование ретрансляции).

$$x_{\text{п.б.}} = (H_{\text{барр}}, V_{\text{ветр}}, L_{\text{барр}}); \quad (4)$$

где  $H_{\text{барр}}$  — высота барражирования;

$V_{\text{ветр}}$  — скорость ветра в районе барражирования;

$L_{\text{барр}}$  — географическая широта барражирования.

Структурная схема модельно-методического аппарата изображена на рисунке 1.

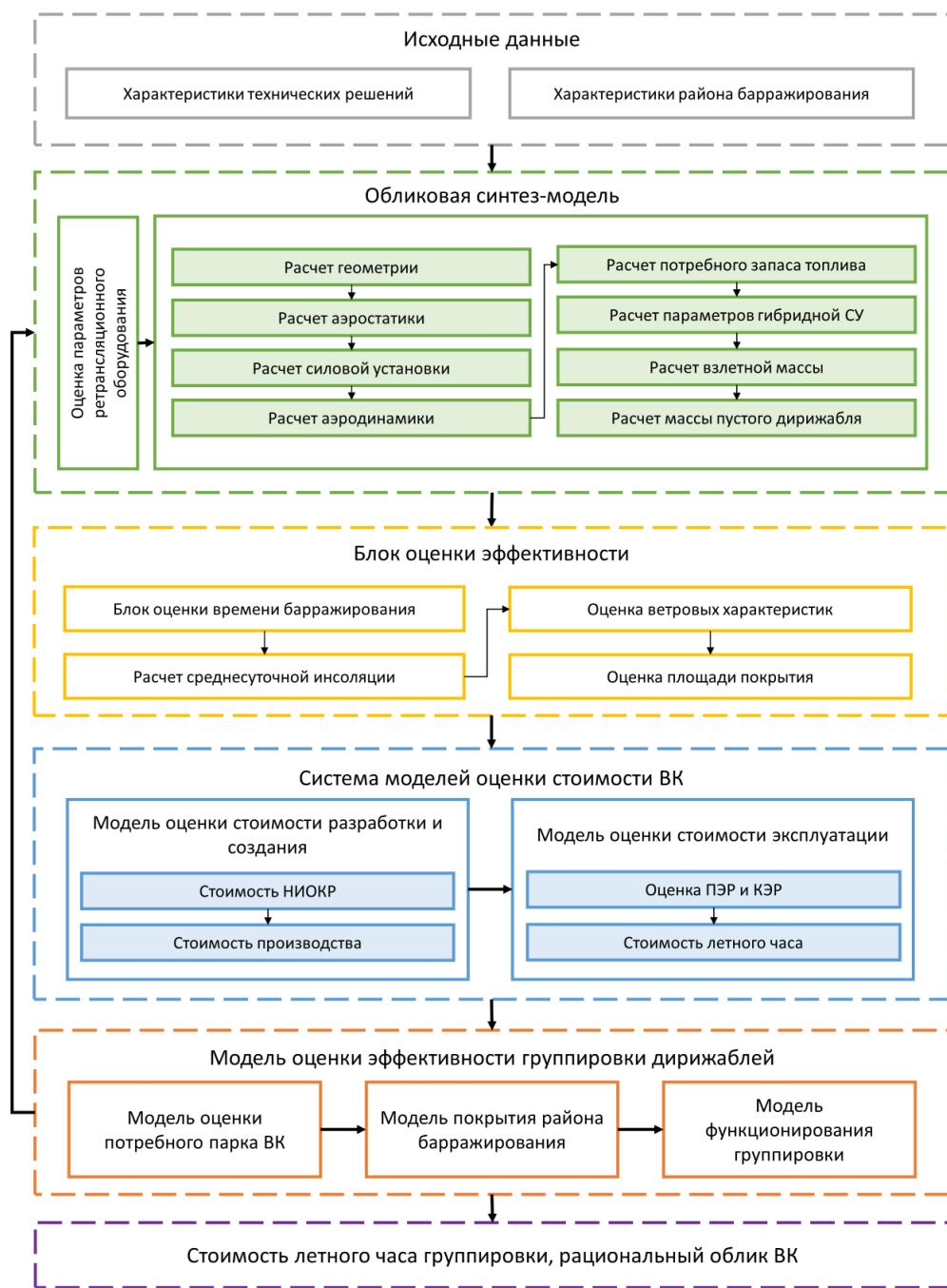


Рис. 3 — Структурная схема модельно-методического аппарата

Разработанный модельно методический аппарат (рисунок 1) содержит четыре основных блока:

- обликовую синтез-модель ВК, использующих как химическую энергию топлива, так и ГСУ, совмещающую использование топлива и солнечной энергии. Модель позволяет определить взлетную массу, геометрические размеры, требуемый объем оболочки, параметры силовой установки, вес необходимого для барражирования топлива, массы отдельных агрегатов и частей дирижабля, рациональный состав ГСУ, вырабатываемую солнечными элементами энергию в зависимости от сезона и широты барражирования [1-3];
- блок оценки эффективности, в котором определяется площадь территории, обслуживаемая одним ВК, которая зависит от размерности летательного аппарата, и время барражирования, при оценке которого учитывается статистика скорости ветра по сезонам и высотам, а также среднесуточная инсоляция в зависимости от географической широты [4-6];
- систему модели оценки стоимости, которая определяет стоимость разработки, создания и эксплуатации ВК [7];
- модель оценки эффективности группировки ВК, оценивающая размер потребного парка с учётом способа покрытия района барражирования и обирачиваемости летательных аппаратов, а также стоимость группировки и затраты на эксплуатацию парка дирижаблей.

Результатом применения, разработанного модельно-методического аппарата является рациональный облик ВК в составе БАС, а также стоимость летного часа группировки дирижаблей-ретрансляторов.

При проведении моделирования были сформированы облики ВК, включая их геометрические, энергетические и массовые характеристики, предназначенных для барражирования при различных сочетаниях природно-климатических факторов в заданных географических районах, даны рекомендации относительно рациональной высоты барражирования дирижабля и произведены оценки экономических показателей применения такой системы ретрансляции.

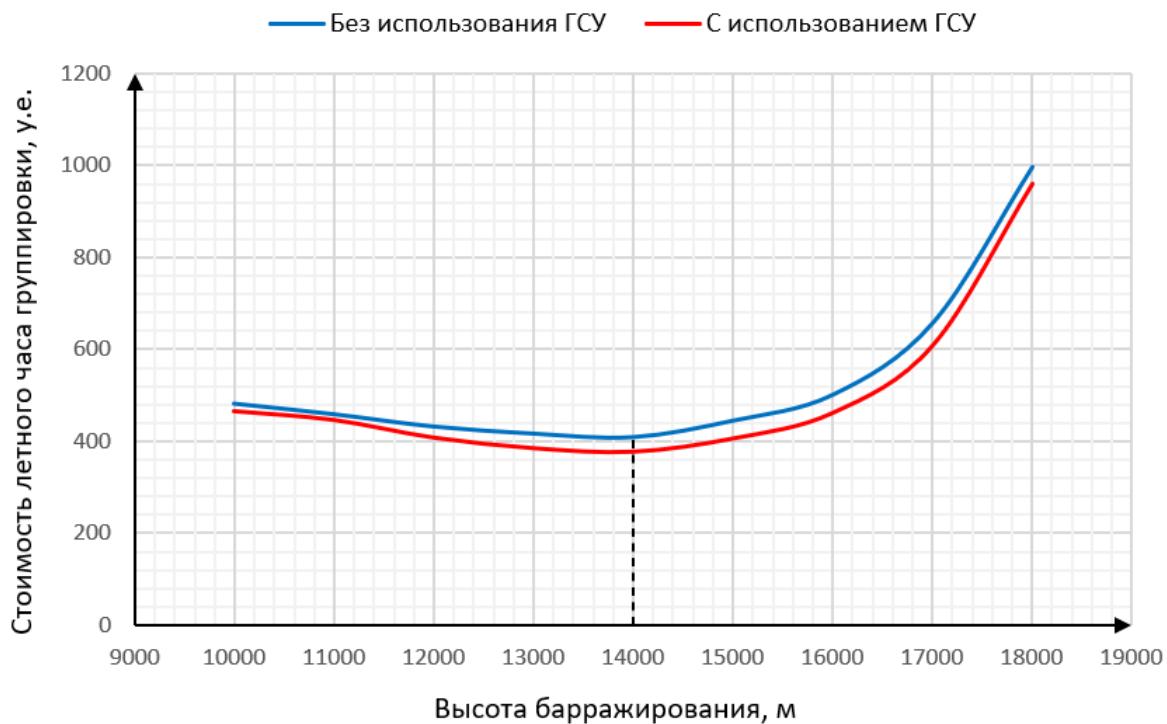


Рис.2 — Усредненная стоимость летного часа одного дирижабля, барражирующего в составе БАС

Экономическая оценка БАС, показала, что для осуществления ретрансляции рационально использовать дирижабль, барражирующий на высоте 14 км (рисунок 2), основные характеристики которого приведены в таблице 1.

Табл. 2 — Технические характеристики рационального варианта аэростатической платформы

Параметр	Ед. Изм.	Значение
Высота барражирования	м	14000
Объем оболочки	м <sup>3</sup>	99000
Максимальный диаметр	м	33
Длина	м	168
Взлетная масса	кг	16200
Масса конструкции (без ГСУ)	кг	9270
Масса силовой установки	кг	900
Масса топлива максимальная	кг	5960
Масса ГСУ	кг	2870
Масса топлива с установленной ГСУ	кг	3100

#### Список использованных источников:

1. Жеребин А.М., Савинков Н.Т. Техническая концепция и обоснование облика систем ретрансляции сигналов на основе высотных дирижаблей // Сборник тезисов V Всероссийской научно-технической конференции «Моделирование авиационных систем». Москва, 2023. С. 23-26.

2. Грумондз В.Т., Семенчиков Н.В., Яковлевский О.В. Аэромеханика дирижабля. Москва, Наука, 2017. 424 с.;
3. Кирилин А.Н. Дирижабли. Москва, Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2013. 415 с.;
4. Dr. Hans-Georg Reimann unter Mitwirkung von Dr. Olaf Fischer, Dr. Christian Friedemann, Dr. Reinhard E. Schielicke Kompendium für das Astronomische Praktikum. Jena, 2002;
5. ГОСТ 24728-81 «Ветер. Пространственное и временное распределение характеристик». Москва, Издательство стандартов, 1981. 88 с.;
6. Тот Л.Ф. Расположения на плоскости на сфере и в пространстве. Москва, Государственное издательство физико-математической литературы, 1958. 365 с.;
7. Жеребин А.М., Малафеев И.В., Егрицин М.А. Система моделей планирования применения малой и региональной авиации // Сборник тезисов V Всероссийской научно-технической конференции «Моделирование авиационных систем». Москва, 2023. С. 15-17.

**Генерация данных сетевых атак с использованием генеративных состязательных нейронных сетей для повышения эффективности систем обнаружения**

**Савосина Арина Александровна**

Научный руководитель – Куприянов А.И.

МАИ, Москва

Ключевые слова: нейронные сети, кибербезопасность, обнаружение вторжений, сетевые атаки

В исследовании основное внимание уделяется разработке методологии синтеза данных кибератак с применением генеративных состязательных сетей (GAN) для решения проблемы несбалансированности обучающих выборок и дефицита репрезентативных данных в системах обнаружения вторжений.

Методика строится на следующих ключевых этапах. Во-первых, производится предварительная подготовка исходных данных, необходимая для выделения и сегментации малочисленных классов атак, которые будут сгенерированы синтетически. Во-вторых, выбор архитектуры генеративной модели осуществляется на основе анализа существующих модификаций GAN — классического GAN, условного GAN (Conditional GAN, cGAN), Wasserstein GAN (WGAN) и Wasserstein GAN с градиентным штрафом (WGAN-GP).

Выбор конкретной архитектуры генеративной состязательной сети является критически важным для успешного решения задачи синтеза сетевых данных атак. В связи с этим, для генерации качественных синтетических данных атак требуются современные модификации и усовершенствованные архитектуры GAN.

Для систематизации и наглядного сравнения ключевых характеристик этих архитектур ниже представлена сводная таблица. Она позволяет провести сравнительный анализ и сделать обоснованный выбор модели, наиболее соответствующей конкретным требованиям задачи генерации сетевых атак.

Табл.3. Сравнительная таблица архитектур GAN

Критерий	Архитектура			
	GAN	CGAN	WGAN	WGAN-GP
Основной принцип	Минимизация JS-дивергенции	Условная генерация на основе дополнительных меток	Минимизация расстояния Вассерштейна. Обеспечение Липшицевости через <b>weight clipping</b>	Минимизация расстояния Вассерштейна. Обеспечение Липшицевости через штраф за градиент
Стабильность обучения	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
Качество и разнообразие генерации	Низкое	Среднее	Высокое	Высокое
Контроль над генерацией	Отсутствует. Генерация случайна	Полный. Позволяет явно задавать класс генерируемых данных	Отсутствует. Генерация случайна	Отсутствует. Генерация случайна
Вычислительная сложность	Низкая	Средняя	Низкая	Высокая
Риск коллапса	Очень высокий	Высокий	Низкий	Низкий
Рекомендация для генерации атак	Не рекомендуется	Рекомендуется для генерации <b>конкрементного типа</b> атаки.	Рекомендуется как надежная базовая модель	<b>Наилучший выбор для генерации высококачественных и разнообразных данных.</b>

Сравнение недостатков и преимуществ рассмотренных архитектур GAN позволяет выдвинуть гипотезу о перспективности разработки гибридного подхода, сочетающего сильные стороны conditional-генерации и advanced-оптимизации. Таким потенциальным решением является концепция *Conditional WGAN-GP*, что в будущем имеет все шансы стать следующим шагом в эволюции методов генеративно-состязательного обучения для задач кибербезопасности, позволяя создавать максимально сбалансированные тренировочные датасеты. Обучение генеративной сети происходит поэтапно и индивидуально для каждого выбранного класса атак, что позволяет сохранить уникальные характеристики и статистические особенности каждой категории угроз. Совместно с обучением проводится непрерывная валидация качества синтетических данных с применением как визуальных методов, так и точных статистических метрик, отражающих соответствие синтетических образцов реальным данным, которые интегрируются в тренировочный набор. Такой подход

минимизирует возможные искажения и обеспечивает баланс между многочисленными типами сетевого трафика.

Завершающим этапом является обучение и тестирование системы обнаружения вторжений на расширенном наборе данных. Интеграция GAN значительно повышает полноту и точность обнаружения редких и новых видов атак, одновременно снижая уровень ложных срабатываний, что критично для практического применения.

Таким образом, интеграция генеративных моделей в СОВ создает замкнутый цикл улучшения, в котором синтез данных становится неотъемлемой частью процесса адаптации и обучения системы к динамично меняющимся условиям киберугроз. Такой подход обеспечивает повышение гибкости и устойчивости систем обнаружения, открывая новые перспективы для развития проактивной защиты информационных систем.

Список использованных источников:

1. Goodfellow I. J., Pouget-Abadie J., Mirza M. et al. Generative adversarial nets // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2014. – Vol. 27. – P. 2672–2680.
2. Mirza M., Osindero S. Conditional generative adversarial nets // arXiv preprint arXiv:1411.1784, 2014.
3. Arjovsky M., Chintala S., Bottou L. Wasserstein GAN // arXiv preprint arXiv:1701.07875, 2017.
4. Gulrajani I., Ahmed F., Arjovsky M. et al. Improved training of Wasserstein GANs // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2017. – Vol. 30. – P. 5767–5777.

**Программный комплекс оценки эффективности распознавания типа воздушной цели разведывательным авиационным комплексом в операциях на морских ТВД**

**Смоленков Александр Романович, Перовская Анна Романовна**

Научный руководитель - Малафеев И.В.

МАИ, Москва

**Ключевые слова:** системный анализ, исследование операций, оценка эффективности, авиационный комплекс, воздушная разведка, радиоразведка, программный комплекс

Воздушная разведка в операциях на морских театрах военных действий (ТВД) имеет особое значение, так как обеспечивает своевременное и достоверное получение информации о противнике, его морских группировках: подводных лодках, корабельных соединениях и обстановке на морских ТВД в целом – включая авиационные комплексы (АК) военно-морских сил (ВМС).

Современные разведывательные АК позволяют вести эффективное наблюдение, в том числе с помощью радиотехнической (РТР) и радиолокационной разведки, за воздушными

целями на морском театре военных действий. Это обеспечивает получение оперативной и тактической информации о передвижении и составе ВМС противника.

Программные комплексы оценки эффективности важны при формировании внешнего облика перспективных АК, поскольку служат инструментом многофакторного анализа применяемого технического оснащения АК. Были исследованы и учтены подходы к разработке инструментов моделирования в целях обоснования обликовых характеристик и оценки эффективности разведывательных авиационных комплексов [1-5].

Рассмотренные варианты использования подсвечивающих РЛС радиолокационного поля для определения дальности до неизлучающих объектов при помощи станции воздушной РТР, свидетельствуют о больших возможностях в этом направлении. Возможно применение станций РТР без пеленгаторов вообще, с пеленгатором в одной или двух плоскостях, а также использование одной или нескольких подсвечивающих РЛС.

Основным недостатком аппаратуры воздушной РТР, построенной по традиционным принципам, является невозможность определения дальности до объекта из одной точки пространства, а также невозможность обнаружения и определения местоположения неизлучающих объектов. Главная особенность работы станции РТР – одновременный прием сигналов различных радиоэлектронных средств. Наиболее мощные из них можно использовать в качестве источника электромагнитной энергии, подсвечивающей цель. Сочетание приема станцией РТР прямых и отраженных от атакующих неизлучающих объектов сигналов с измерением разности времени между моментами прихода этих сигналов дает возможность определить дальность до неизлучающих объектов (см. схему на рисунке 1). Данный метод предназначен для обнаружения и измерения дальностей до пассивных целей и их классификации, что необходимо для обороны авиационных комплексов, предупреждения столкновения воздушных судов и защиты корабельных группировок [6,7].



Рис.1 – Схема расположения объектов моделирования  
в эпизоде измерения дальности до объекта

Работа посвящена созданию программного комплекса для выработки требований к перспективным АК, осуществляющих разведку на морских ТВД.

В состав программного комплекса оценки эффективности входят (рисунок 2):

1. База данных. Данный блок представляет собой систему информационной поддержки процессов моделирования и содержит исходные данные для моделирования, такие как: характеристики объектов (АК, целей противника, оборудования – РЛС, РТР), характеристики оперативно-тактической обстановки (взаимное расположение объектов, параметры их движения и пр.);

2. Программный модуль оценки эффективности распознавания типа воздушной цели, который сформирован на основе соответствующей системы моделей. Система моделей оценки эффективности включает в себя модели для расчета энергетических ограничений станции РТР, а также различные блоки определения дальности до источников радиоизлучения при различных вариантах применения станции РТР.

3. Система визуализации. Представляет собой программный интерфейс, обладающий функциями ввода основных параметров моделирования и визуализации результатов в виде графиков. По выполнению серии расчетов выбранных вариантов применения АК с вариантами оборудования (РТР и РЛС), можно проводить сравнительный анализ эффективности применения систем.

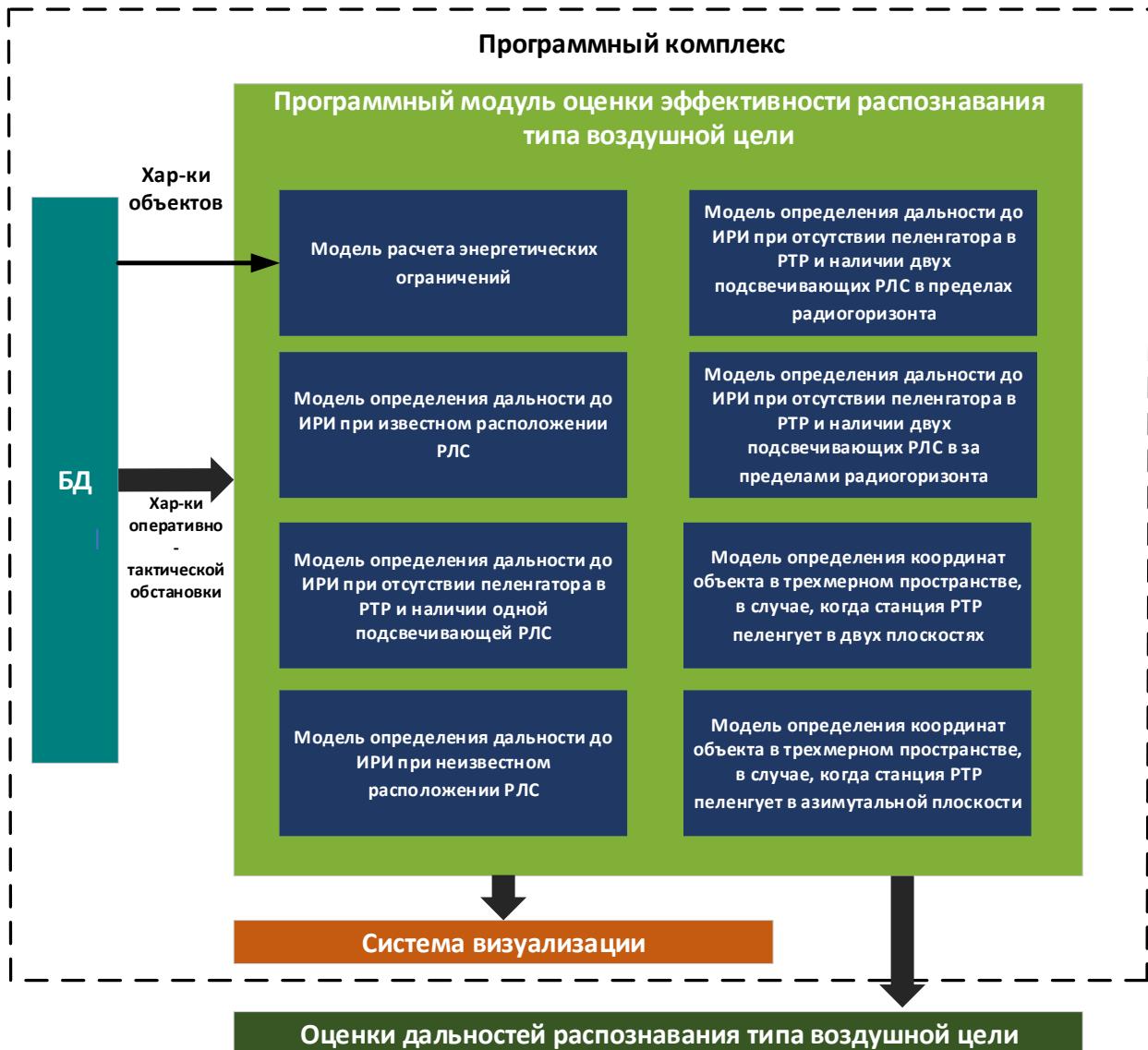


Рис. 2 – Структурная схема программного комплекса

Программный комплекс оценки эффективности распознавания типа воздушной цели разведывательным АК в операциях на морских ТВД является кроссплатформенным продуктом, реализованным на языке программирования C++ в среде разработки QT Creator.

В ходе работы был проведен ряд модельных экспериментов, отражающих работоспособность программного комплекса и получены результаты для различных вариантов применения станций радиоразведки.

#### Список использованных источников:

1. Жеребин А.М., Егрищин М.А., Савинков Н.Т., Скрипниченко Ю.С., Малафеев И.В. Концепция обоснования функционально-технических характеристик авиационных боевых комплексов и вооружения // Передача, приём, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах: Сборник статей, Сочи, 01–10 октября 2024 года. – Москва: ИД Академии Жуковского, 2025. – С. 176-181.

2. И. В. Малафеев, Ю. С. Скрипниченко, А. Р. Морина, Н. Б. Топоров Разработка модельно-методического аппарата формирования облика разведывательного беспилотного летательного аппарата // Моделирование авиационных систем : Сборник тезисов докладов V Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 29–30 ноября 2023 года. – Москва: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2023. – С. 34-35.
3. И. В. Малафеев, Ю. С. Скрипниченко, Р. А. Акулов, А. И. Широков Разработка модельно-методического аппарата формирования обликовых характеристик беспилотного летательного аппарата, применяемого в операциях на морском театре военных действий // Моделирование авиационных систем : Сборник тезисов докладов V Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 29–30 ноября 2023 года. – Москва: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2023. – С. 30-31.
4. Скрипниченко Ю.С., Егрицин М.А., Савинков Н.Т., Морина А.Р., Малафеев И.В. Программно-алгоритмический комплекс оценки эффективности авиационных комплексов в операциях разведки надводных объектов // Моделирование авиационных систем: Сборник тезисов докладов VI Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 20–21 ноября 2025 года. – Москва: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2025. – С. 33-35.
5. Антонова Е.А., Никифоров Н.С., Скрипниченко Ю.С., Белоусов И.Д., Морина А.Р. Система моделей оценки эффективности беспилотных летательных аппаратов в операции радиотехнической разведки // Моделирование авиационных систем: Сборник тезисов докладов VI Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 20–21 ноября 2025 года. – Москва: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2025. – С. 18-20.
6. Ю.П. Мельников. Воздушная радиотехническая разведка (Методы оценки эффективности), б.м. : Издательство «Радиотехника», 2005
7. Ю.П. Мельников. Воздушная активно-пассивная разведка надводных кораблей. Методы оценки эффективности, б.м.: Радиотехника,2017

## Экономичный режим работы трёхсуставного шарнирно-рычажного манипулятора

Солдатенко Владислава Павловна<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.т.н. Лебедев В.В.<sup>2</sup>

Университет ИТМО<sup>1</sup>, Санкт-Петербург

Благотворительный фонд «Образование+»<sup>2</sup>, Королев

Ключевые слова: шарнир, рычаг, манипулятор, робот, мехатроника, степень свободы, протез, биомеханика

Решаемая научно-техническая проблема заключается в экономии энергии при работе бионического протеза. В настоящее время протезирование достигло такого уровня развития механических систем, что реальными становятся точные механизмы с несколькими степенями свободы. Такие механизмы наиболее полно соответствуют работе реальной руки или кисти человека. Но одновременно с развитием механики всё более актуальной становится задача управления сложными многозвенными системами. При разработке алгоритмов управления часто применяются методы бионики, то есть сравнения искусственного объекта с живыми организмами. В живой природе соблюдается принцип максимальной экономии энергии. Следовательно, есть смысл перенести движение кисти или пальца человека на перспективный протез. Захватить предмет можно рационально, если следовать экономическому режиму работы, то есть с минимально затраченной энергией.

Цель работы заключается в минимизации энергии, требуемой для поворота звеньев трёхрычажного шарнирного механизма для захвата предмета, расположенного в заданной точке пространства. Для достижения сформулированной цели требуется решить задачу минимизации суммы углов поворота трёх рычагов относительно нейтральных линий.

Новизна задачи и результатов заключается в дополнении известных способов работы манипуляторов или протезов новым программным обеспечением.

Трёхрычажный, или трёхсуставный по П.Л.Чебышеву [1], шарнирный манипулятор приближённо моделирует движение одного пальца человека, имеет три степени свободы, поэтому нуждается в соответствующем программном обеспечении. Приближённая механическая модель пальца человека содержит три сустава-рычага [2]. Угол поворота рычага пропорционален затраченной энергии. Следовательно, надо определить такие значения трёх углов поворота рычагов для захвата предмета, чтобы сумма углов поворота трёх рычагов от нейтрального положения была минимальной.

На рис.1 показана упрощённая расчётная геометрическая схема трёхсуставной биомеханической модели пальца человека с одинаковыми длинами трёх фаланг. В трёхсуставной модели появилась задача оптимизации. Действительно, если два шарнирных

сустава, средний  $B_2C_2$  и проксимальный  $A_1B_2$ , не требуют оптимизации в своём положении после поворота пястной фаланги из положения  $OA$  в положение  $OA_1$ , то сама пястная фаланга, напротив, требует решить задачу оптимального угла отклонения  $AOA_1$  от исходного положения  $OA$ . Задача от вербальной формулировки и содержательного описания перешла к чёткой и строгой математической постановке: при каком угле отклонения пястной фаланги  $OA_1$  от исходного положения  $OA$  для захвата предмета  $M$  с заданными координатами в области достижимости концом  $C_2$ , то есть дистальной фалангой-точкой, сумма углов отклонения пястной  $OA_1$ , проксимальной  $A_1B_2$  и средней  $B_2C_2$  фаланг от нейтральных положений соответственно  $OA$ ,  $A_1B$  и  $B_2L$  будет минимальной, а именно  $AOA_1+B_1A_1B_2+LB_2C_2=\min$ , а также чему равна минимальная сумма указанных трёх углов?

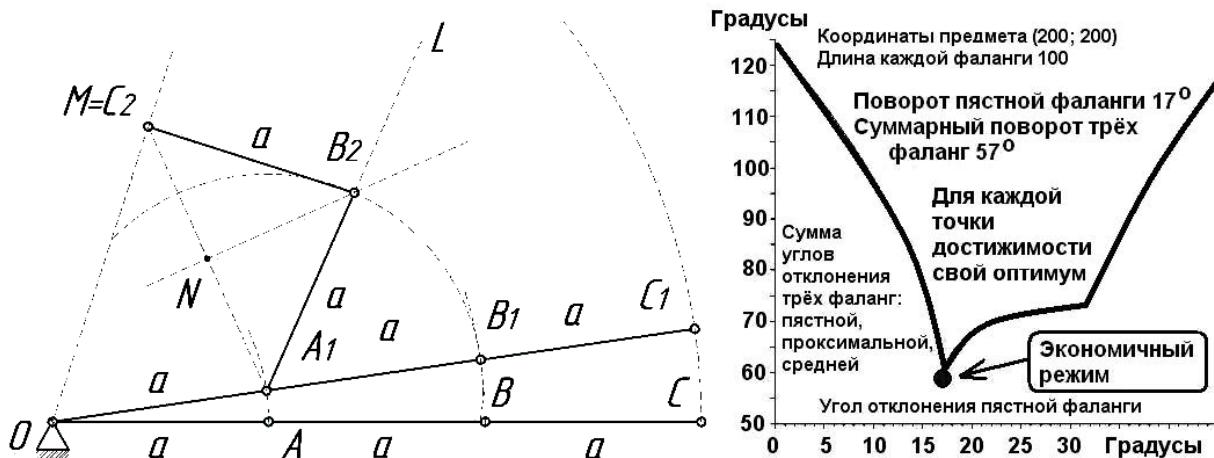


Рис. 1. Упрощённая трёхсуставная модель пальца человека и её работа

Сформулированная геометрическая задача была решена прямым вычислительным методом, то есть перебором всех возможных вариантов с помощью соответствующего программного цикла. Вычислительная программа составлена в среде Scilab 6.1.1. Результат выведен графически для нескольких вариантов координат предмета, расположенного в зоне достижимости. На рис.1 справа показан результат расчёта в виде графика с явным острым, недифференцируемым минимумом при угле отклонения пястной фаланги на  $17^0$ , что соответствует сумме трёх углов поворота трёх фаланг  $57^0$ .

Сопоставление полученного результата с реальным опытом обосновывает правильность рассуждений и подтверждение гипотезы о возможности программной реализации экономического режима движения рычагов в биомеханической робототехнической системе [3]. Пястная кость каждого пальца вросла в ладонь, скрыта мышцами, сухожилиями и кожей. С механической точки зрения такое биологическое окружение пястной кости мышцами можно объяснить только сравнительно небольшими углами её поворота в шарнире. Напротив, проксимальная и средняя фаланги пальца человека могут отклоняться от нейтральной линии на большие углы, проксимальная – почти на  $90^0$ ,

средняя – более чем на 90<sup>0</sup>. Получилось, что математическая модель находится в полном соответствии с биологическими характеристиками указанных костей в пальце человека. Это позволяет более точно моделировать и программировать движение рычагов в биомеханических протезах с учётом сформулированных выводов [4].

1. Выполнено математическое и компьютерное моделирование движения пальца человека, пока в упрощённой форме, как биомеханической робототехнической системы.
2. Доказана возможность реализации нескольких режимов движения биомеханической модели пальца человека для захвата предмета, в том числе экономического режима с минимальной суммой углов поворота пястного, проксимального и среднего рычагов, соответствующей минимуму расходуемой для такого перемещения энергии.
3. Определена перспектива постепенного усложнения биомеханической модели с учётом реальных размеров пальца, а также действия всех пяти пальцев кисти человека.
4. Подготовлена заявка на патент на полезную модель, позволяющую зрительно и наглядно демонстрировать существование экономичного режима движения системы.

Финансовая поддержка. Работа выполнена в школьном кружке «Юный физик – умелые руки» при поддержке Благотворительного фонда «Образование+».

#### Список использованных источников:

1. Зигалова Е.Ю., Билич Г.Л. Анатомия человека. Современный атлас с подробными иллюстрациями. Серия: Медицинский атлас. М.: Эксмо, Медпроф, 2024. - 432 с.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. Серия: Классика инженерной мысли: Машиностроение. Справочное пособие для инженеров, конструкторов и изобретателей. В 7 томах. Том 1: Элементы механизмов. Простейшие рычажные и шарнирно-рычажные механизмы. Т.1. Изд. стереотип. М: Машиностроение, 2021. - 500 с.
3. Скворцова А.А. Медицинский рефлекторный шагающий тренажёр - опыт работы по программе "УМНИК" / Сборник тезисов III Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых учёных "Материалы и технологии XXI века" 29-31 октября 2018. Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2018. - 326 с. - Секция 1: "Медицина 21 века"". С.80. URL: <http://www.mt21kpfu.com/> (дата обращения 07.10.2025).
4. Патент на изобретение RU 2840552 С2, рег. 26.05.2025. Российская Федерация. СПК F16H 21/04 (2025.01). Направляющий рычажно-шарнирный механизм для одновременного прямолинейного движения двух точек в противоположных направлениях / Конорева М.М. - заявитель и патентообладатель. Заявка 2024128552, заявл., приоритет 26.09.2024. Публ. 26.05.2025, Бюлл. №15. Публ. заявки 05.11.2024, Бюлл. №31.

**Обучение переводу аббревиатур в аэрокосмической отрасли для повышения качества работы с технической документацией**  
**Солобоева Наталья Вадимовна**  
Научный руководитель – Власова С. В.  
МАИ, Москва

Ключевые слова: межкультурная коммуникация, профессиональное общение, технический перевод, аэрокосмические термины, аббревиатуры.

В статье проанализирована важность обучения грамотному переводу аббревиатур при работе с документами для формирования лингвокультурологической компетенции и современной межкультурной коммуникации студентов аэрокосмических вузов. Отобраны и систематизированы в глоссарий базовые аббревиатуры, необходимые для формирования профессиональной иноязычной компетенции у будущих специалистов различных технических специальностей.

Сегодня реформа высшего образования и повышение престижа инженерных специальностей вносят новые требования к формированию профессиональной иноязычной компетенции у студентов технических вузов [1].

Актуальность данного исследования базируется на том факте, что для успешной международной коммуникации специалисту аэрокосмического профиля нужны лингвистические и профессиональные навыки, знание стилистических особенностей общения, овладение терминологией специальности, аббревиатурами [2].

Гипотеза данной работы заключается в предположении о том, что систематизация базовых аббревиатур разных специальностей по группам повысит уровень иноязычной компетенции выпускников технического вуза при работе с технической документацией.

Изучение научного наследия таких ученых, как В.С. Виноградов, В.Н. Комиссаров, В. В. Борисов, О. И. Денисова, Б. Климзо, Э. Г. Крылов, А. В. Цепилова позволило обосновать важность аббревиатур в формировании иноязычной компетенции студентов, осознать важность специальных заданий для изучения технических акронимов, проанализировать трудности адекватного перевода аэрокосмических аббревиатур, передающих максимум информации для эффективности профессиональной коммуникации [3, с. 8].

Для создания глоссария использовались материалы сайтов: Росавиация (favt.gov.ru), US Protection Agency (nepis.epa.gov), Engineering technology (eit.edu.au), EASA (easa.europa.eu), C/L Aviation Group (cla.aero), FAA (faa.gov), Gunter's Space Page (space.skyrocket.de), Nasa Space Flight (nasaspaceflight.com), Skybrary (skybrary.aero), ICAO (icao.int), Boeing (boeing.com), Airbus (airbus.com), Aviation Week Network (aviationweek.com).

Аббревиатуры группировались по направленности обучения студентов. К примеру, для авиаконструкторов: VTOL/Vertical Take-Off and Landing – СВВП, EAD/Emergency

Airworthiness Directive – аварийная директива летной годности, UAV/Unmanned Aircraft Vehicle – БПЛА. Двигателестроение: HPC/High Pressure Compressor - КВД, FADEC/Full Authority Digital Engine Control – автономная цифровая система управления двигателем. Ракетостроение: BECO/Booster Engine Cut-Off - отключение двигателей ускорителей, LPRE/Liquid-Propellant Rocket Engine – ЖРД, ELV/Expendable Launch Vehicle – одноразовая ракета-носитель. Экология: SAF/Sustainable Aviation Fuel – экологически чистое авиационное топливо, BLSS/Bioregenerative Life Support System – биорегенеративная система жизнеобеспечения, UV/ultraviolet – ультрафиолет.

Глоссарий содержит 293 базовые аббревиатуры, овладение которыми позволит улучшить адекватность перевода аэрокосмических текстов, помочь будущим инженерам разбираться в профессионально-ориентированном контексте [4]. Требуется дальнейший отбор терминов для развития коммуникации студентов инженеров, изучения ими профессиональной лексики в социокультурном и профессионально-ориентированном контексте [5].

По результатам проведенного исследования сделаны следующие выводы:

1. Иноязычная профессиональная компетенция студентов аэрокосмических вузов является важным фактором подготовки и обучения конкурентоспособного инженера.
2. Прикладное лингвокультурологическое значение технических аббревиатур связано с улучшением передачи информации, качеством понимания технических документов, формированием лексики профессии, развитием мышления студентов, их языковой культуры.
3. Созданный глоссарий узкоспециальных аббревиатур в аэрокосмической сфере поможет студентам в грамотном переводе, улучшит языковые и социокультурные навыки.

Список использованных источников:

1. В. В. Путин призвал развивать отечественную инженерную школу. [Электронный ресурс] // Электронный журн. 2022. URL: <https://www.interfax.ru/russia/852757> (Дата обращения: 31.09.2025).
2. Цепилова А. В. Специфика формирования иноязычной профессионально-коммуникативной компетентности будущих инженеров в вузе. // Научно-педагогическое обозрение (Pedagogical Review). 2019. Вып. 1 (23). С. 101-106. DOI:10.23951/2307-6127-2019-1-101-106
3. Борисов В. В. Аббревиация и акронимия. Военные и научно-технические сокращения в иностранных языках. // М. Воениздат – 1972. – 544с.
4. Денисова О. И. Особенности перевода авиационной терминосистемы с английского языка на русский. Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Лингвистика. 2015. № 5. С. 79-83. DOI: 10.18384/2310-712X-2015-5-79-83

5. Крылов Э. Г. Профессиональная иноязычная коммуникативная компетенция будущего инженера. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/professionalnaya-inoyazychnaya-kommunikativnaya-kompetentsiya-buduschego-inzhenera/viewer> (Дата обращения: 10.10.2025).

**Разработка метода повышения надежности высокоточных печатаных плат, используемых в аэрокосмической технике**

**Степанов Алексей Сергеевич, Прокофьев Сергей Алексеевич,  
Лавриненко Сергей Александрович**  
Научный руководитель – Коробков М.А.

МАИ, Москва

**Ключевые слова:** надёжность, печатная плата, деформация, искусственный интеллект, математическая модель

Современная бортовая электронная аппаратура, применяемая в авиационных и космических комплексах, должна обладать высокой надёжностью и устойчивостью к экстремальным условиям эксплуатации. Поскольку оборудование, устанавливаемое на летательные и космических аппараты, а также на наземные системы управления, должно функционировать безотказно даже при воздействии интенсивных вибраций, перегрузок, резких температурных перепадов и повышенной влажности. Любой сбой в работе такой аппаратуры может привести к серьёзным последствиям, что обуславливает крайне строгие требования к качеству и надежности всех её компонентов [1].

Однако обеспечение требуемого уровня надёжности осложняется особенностями производства печатных плат (ПП) — основного конструктивного элемента всех электронных устройств. Процесс изготовления ПП неизбежно сопровождается явлением деформации базового композитного материала, которая приводит к изменению координат элементов проводящего рисунка на изготовленном образце относительно спроектированной конструктором топологии и, как следствие, дефектам — рассовмещению контактных площадок межслойных переходных отверстий. Рассовмещение между слоями ПП является критической проблемой, которая не позволяет увеличить класс точности производства ПП, значительно снижая выход годных изделий.

Поле деформации слоя ПП зависит от совокупности факторов: конструкции ПП, характеристик базового материала, а также параметров технологических операций. В работе предлагается подход к построению оригинальной математической модели, описывающей зависимость деформации базового материала от его характеристик, а также режимов и параметров технологического процесса. Данная модель строится на основе эмпирических данных, что позволяет учитывать индивидуальные реакции базового материала во время

технологических операций, таких как высвобождение внутренних напряжений при травлении и прессовании в зависимости от топологии, анизотропность базового материала. Эти факторы не учитываются при традиционном моделировании с помощью CAD-систем. Также важной особенностью является то, что модель позволяет спрогнозировать величину и направление вектора деформации ещё на этапе проектирования, тем самым снизив её влияние на качество продукции.

Для построения модели разработан метод цифровой оценки деформации слоев многослойных печатных плат в процессе их изготовления [2], схожий с методом цифровой корреляции изображений. Алгоритм разработанного метода представлен на рис. 1.

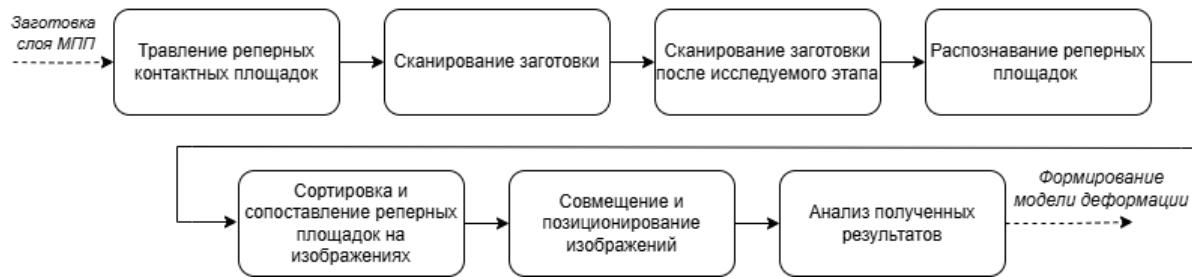


Рис. 4. Алгоритм проводимого исследования

Метод основан на сравнении положения реперных знаков на поверхности экспериментальных заготовок ПП до и после воздействия различных механических и термических нагрузок и включает программно-аппаратный комплекс, позволяющий находить и визуализировать возникающие при производстве изменения базового материала с погрешностью до 20 мкм.

Основным компонентом ПО является модуль поиска смещений между изображениями. Он принимает на вход два изображения и конфигурационный файл. После чего производит поиск отверстий, совмещение изображений, посредством обученной нейронной сети YOLOv11, адаптированной под специфические особенности изображений ПП, и далее вычисляет величину и угол вектора деформации как для областей вокруг каждого из отверстий, так и для ПП в целом [3].

В результате эксперимента удалось выявить статистические закономерности в распределении направлений и величин вектора деформации, обусловленные анизотропией стеклоткани и направлением волокон в подложке. Это позволило построить математическую модель **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, описывающую смещение отверстий и контактных площадок в зависимости от параметров топологии, характеристик базового материала и особенностей конкретного технологического процесса.

$$dy(Y) = -0,0386 \cdot (\sin(0,5\pi \cdot Y + 1,71) - 0,01), \quad (3)$$

Для проверки адекватности построенной модели была проведена оценка её применимости на одной из плат. На рисунке 2 для визуализации полученных результатов представлены тепловые карты распределения деформации на ПП до и после применения внесённых корректировок, рассчитанных на основе построенной модели.

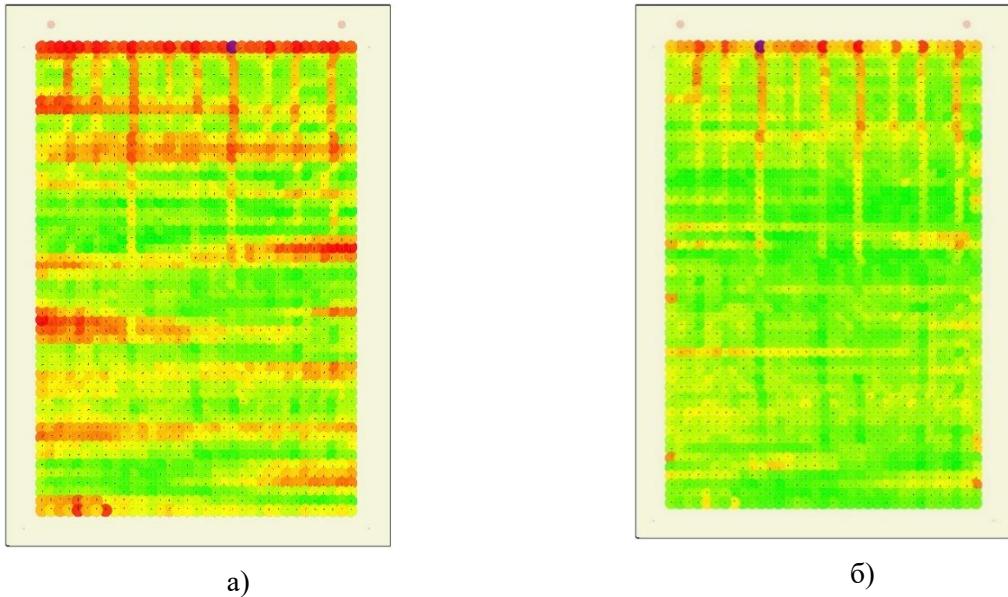


Рис.5 — Изображение ПП: а) до применения корректировки; б) после применения корректировки

Таким образом, результаты экспериментов подтвердили эффективность разработанной модели: применение рассчитанных корректировок позволило снизить средний вектор деформации более чем на 15%.

Список использованных источников:

1. Васильев Ф.В. Физическая надежность электроники // М: МАИ — 2022, — 160 с.
2. Степанов А.С., Лавриненко С.А., Прокофьев С.А., Коробков М.А., Хомутская О.В. Разработка способа цифровой оценки деформации слоев многослойных печатных плат в процессе их изготовления // СТИН. – 2025. – № 6. – С. 6-12. – EDN VCBUFV.
3. Степанов А.С., Лавриненко С.А., Прокофьев С.А. Исследование практических аспектов цифровой оценки деформации слоёв многослойных печатных плат в процессе их изготовления // Молодёжь и будущее авиации и космонавтики : Сборник аннотаций конкурсных работ XVI Всероссийского межотраслевого молодёжного конкурса научно-технических работ и проектов, Москва, 18–22 ноября 2024 года. – Москва: Издательство Перо, 2024. – С. 87-88. – EDN ABCWR

**Концептуальное проектирование реактивного ранца для осуществления  
внекорабельной деятельности космонавта**  
**Суворкин Владислав Андреевич**  
**Научный руководитель — Полуэктов Р.М.**  
**МАИ, Москва**

Ключевые слова: реактивная тяга, ориентация, вектор, давление воздуха, импульс

Пока что задачи внекорабельной деятельности не требуют необходимости находиться в космосе вдали от станции, поскольку использование реактивных ранцев для открытого космоса без страховочного фала признано слишком рискованным. Но с учетом полученного опыта и появления новых технологий, конструкции будут улучшаться и рано или поздно подобные устройства станут востребованы, так как существует множество потенциальных миссий, которые могли бы быть реализованы за счет обеспечения мобильности космонавтов в открытом космосе, при сохранении безопасности космонавтов на высоком уровне.

Для выполнения работ на поверхности орбитальных станций, например МКС, космонавтам необходимо совершать выходы в открытый космос. В настоящее время для этой цели применяется метод, при котором космонавты пристегиваются к космическому кораблю специальными страховочными тросами. Поскольку работы выполняются на разных участках орбитального комплекса, космонавт при перемещении перекидывает карабины от двух тросов через поручни. Однако существует риск неправильного закрепления карабина или поломки самого троса, что может привести к отсоединению космонавта от корабля и невозможности вернуться обратно. Для нивелирования подобных рисков также становится актуальным использование системы аварийного спасения космонавта, представляющей из себя реактивный ранец.

**Формирование облика концептуального ранца**

На основе изученных прототипов устройств для передвижения космонавтов в рамках работы рассматривается следующий состав ранца.

В составе ранца предусмотрен тридцатилитровый баллон со сжатым воздухом под давлением 350 атмосфер и редуктором, снижающим давление на выходе до 10 атмосфер, 6 управляющих подачей рабочего тела клапана, 14 пар сопел (диаметр сопла — 0,05 м, площадь сечения одного сопла — 0,002 м<sup>2</sup>), через которые осуществляется выброс рабочего тела, 6 гиродинов для управления ориентацией, электронный блок управления функционированием ранца, две ручки управления для выбора направления полёта и управления ориентацией, два лазерных дальномера 360°, источник питания. Разработана 3D модель космонавта с концептуальным ранцем (Рис. 6).

С помощью ручки управления для левой руки осуществляется управление ориентацией космонавта с ранцем в пространстве. Движение манипулятора обрабатывается электронным

блоком управления и подаёт команду на гиродины, подбираемые в соответствии с направлением движения ручки. Аналогично происходит управление вектором тяги ранца с помощью ручки управления для правой руки — в соответствии с направлением и интенсивностью наклона ручки управления, либо нажатия или вытягивания её (для движения в вертикальной плоскости) от блока управления подаётся команда на клапаны подачи рабочего тела к выбранным соплам.

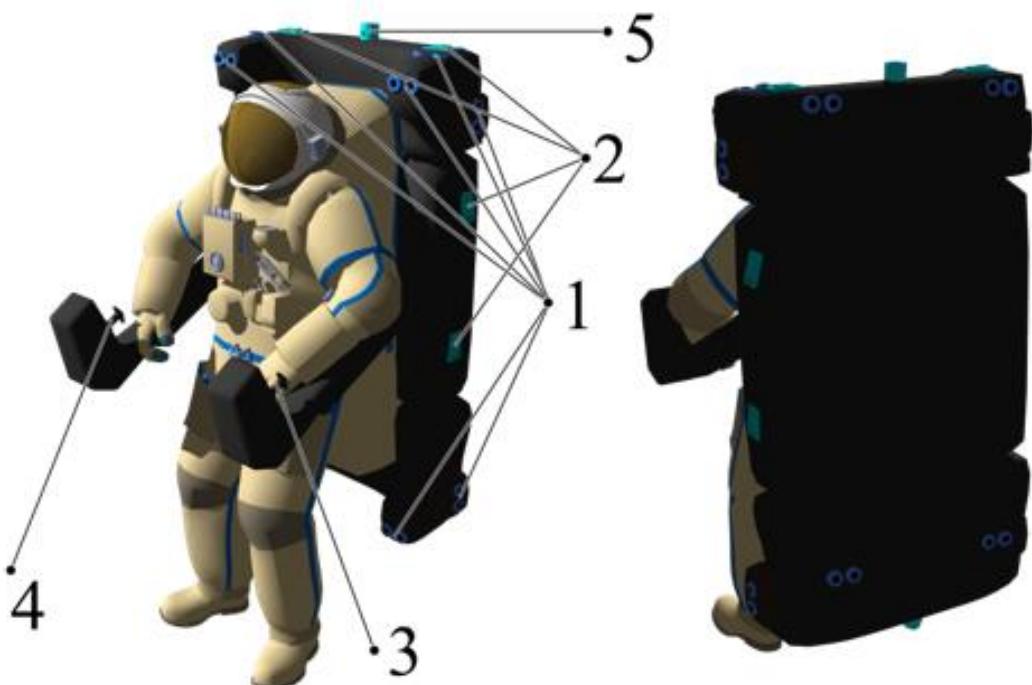


Рис. 6 — Разработанная 3D модель скафандра «Орлан-МК» и прикрепленного к нему концептуального реактивного ранца

- 1 — пары сопел для формирования вектора тяги (14 пар),
- 2 — гиродины (6),
- 3 — ручка управления ориентацией,
- 4 — ручка управления вектором тяги,
- 5 — лазерные дальномеры (2).

#### Результат

В ходе работы разработана концепция реактивного ранца для передвижения космонавтов в открытом космосе, использующая в качестве двигательной установки баллон со сжатым воздухом, подаваемым на сопла диаметром 0,05 м. Для обеспечения ориентации космонавта рассматривается применения 6 гиродинов. Описан принцип функционирования в режиме ручного управления и в автономном режиме, применимом в качестве системы аварийного спасения космонавтов в случае возникновения непредвиденных ситуаций. Разработана 3D модель космонавта в скафандре «Орлан-МК» с концептуальным реактивным ранцем.

## Список использованных источников:

1. Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н. Управление ориентацией космических аппаратов. М.: Наука, 1974
2. Amster M.N., Anderson R.P., Williams H.M. Analysis of Twin-gyro Attitude Controller; Final Summary Report // EL-EOR-13005. Dallas Texas: Chance Vought Aircraft, Inc., 1960.
3. Дружинин Э. И. РАСЧЕТ ПРОГРАММНЫХ УПРАВЛЕНИЙ, НЕ ПОРОЖДАЮЩИЙ СИНГУЛЯРНЫХ СОСТОЯНИЙ ГИРОСИСТЕМЫ. ИЗВЕСТИЯ РАН. ТЕОРИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, 2019, № 2, с. 106–116
4. Стромберг А. Г., Семченко Д. П. Физическая химия: Учеб. для хим. спец. вузов / Под ред. А. Г. Стромберга. — 7-е изд., стер. — М.: Высшая школа, 2009. — 527 с.
5. Феодосьев В.И. ОСНОВЫ ТЕХНИКИ РАКЕТНОГО ПОЛЕТА. М.: Наука, 1979

**Разработка модульной аппаратно-программной платформы с открытой документацией для разработки автономных мобильных роботов**

**Султанов Арман Русланович, Черновский Никита Владимирович,**

**Гапоненко Максим Вадимович**

Научный руководитель – Коробков М.А.

МАИ, Москва

Ключевые слова: мобильная робототехника, открытая платформа, модульная конструкция, автономная навигация, ROS2

Разработка автономных мобильных роботов (AMP) для исследований и образования сдерживается отсутствием подходящих инструментов. Готовые коммерческие платформы (Yandex Rover, Ronavi) являются закрытыми системами, непригодными для модификации и тестирования новых алгоритмов. Существующие образовательные наборы (РОББО, ТРИК), в свою очередь, имеют ограниченные возможности и не обеспечивают перехода к полноценной разработке.

В ответ на это предлагается создание открытой модульной платформы. Её принципы — использование доступных компонентов, полная открытость архитектуры и подробная документация — направлены на устранение данного разрыва. Платформа призвана стать универсальным инструментом, позволяющим разработчикам и исследователям фокусироваться на решении актуальных задач, а не на многократном создании базовых решений.

Актуальность проекта обусловлена его направленностью на преодоление ключевого системного дефицита в области мобильной робототехники: отсутствия открытой, модульной и хорошо документированной аппаратно-программной платформы. В условиях, когда рынок

предлагает лишь закрытые коммерческие продукты или узкоспециализированные решения, такая платформа становится критически важным инструментом. Она радикально снижает порог входа для образования, позволяя студентам и инженерам изучать полный цикл разработки — от механики до алгоритмов ИИ. Одновременно она служит эталонной основой для воспроизводимых научных исследований, ускоряя тестирование и сравнение новых алгоритмов в реальных условиях. В конечном счете, создание открытой платформы формирует основу для технологической кооперации и суворенитета, стимулируя развитие сообществ разработчиков и снижая зависимость от иностранных вендоров.

Предлагаемое решение представляет собой аппаратно-программную платформу для разработки автономного мобильного робота, базирующуюся на следующих принципах:

1. Открытая модульность: конструкция строится на использовании стандартизованных и легкодоступных компонентов, что позволяет гибко адаптировать платформу под различные сценарии без необходимости полного перепроектирования.
2. Полная прозрачность и документирование: все этапы разработки публикуются в открытом доступе, чтобы обеспечить полную воспроизводимость проекта и создать образовательный ресурс.
3. Поэтапная итеративная разработка: проект реализуется через последовательность итеративных прототипов, где каждая следующая версия решает задачи и проблемы предыдущей и добавляет новую функциональность.

На данном этапе ведется работа над созданием первого макета. Реализована конструкция макета. Конструкция представляет собой несущий каркас собран из алюминиевого профиля. Крепёж — стандартный мебельный и напечатанные на 3D-принтере пластиковые детали. Шасси — гусеничное; все элементы траков, катков, колёс и креплений подвески изготовлены методом 3D-печати. Подвеска — независимая пружинная. Корпусные панели изготовлены из ПВХ. На данном этапе прочностные расчёты и математическая оптимизация конструкции сознательно опущены в пользу скорости изготовления и проверки концепции. Предполагаемые максимальные габариты и масса груза 220×310×190 мм и 3 кг соответственно.

В качестве центрального вычислителя используется одноплатный компьютер Raspberry Pi. Первоначально планировалось использование специализированной платы на базе STM32, однако на текущем этапе для ускорения разработки принято решение применить более доступный и простой в освоении микроконтроллер Arduino UNO/Nano с драйвером моторов L298N. В состав заложены однолучевой лидар (RPLIDAR A1) и камера. Привод реализован на

коллекторных моторах с энкодерами для организации управления с обратной связью по положению и скорости.

Программный комплекс строится на основе фреймворка Robot Operating System 2 (ROS 2) [1], что обеспечивает модульность, масштабируемость и удобство интеграции алгоритмов. Коммуникация между высокочувствительным вычислителем и низкоуровневым контроллером двигателей (Arduino) осуществляется по последовательному интерфейсу (UART).

Для локализации и картографирования был выбран алгоритм KISS-ICP [2]. Решение обосновано его эффективностью на Raspberry Pi 4, техническими преимуществами и нативной интеграцией с ROS 2 [3]. Архитектура системы включает быструю одометрию на основе энкодеров и IMU, основную локализацию с LIDAR, коррекцию по камере с использованием ArUco-маркеров. Ожидаемые результаты: точность локализации 3-5 см в помещении, 10-20 см на улице; частота обновления позиции около 10 Гц; максимальный размер карты 300x300 м, время инициализации меньше 2 с при загрузке сохраненной карты.

Список использованных источников:

1. Macenski S. и др. Robot Operating System 2: Design, architecture, and uses in the wild // Science Robotics. 2022. Т. 7, № 66. С. eabm6074.
2. PRBonn. Публичный репозиторий PRBonn [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/PRBonn/kiss-icp>
3. Vizzo I. и др. KISS-ICP: In Defense of Point-to-Point ICP – Simple, Accurate, and Robust Registration If Done the Right Way // IEEE Robotics and Automation Letters. 2023. Т. 8, № 2. С. 8.

**Исследование влияния остаточных напряжений после лазерной ударной обработки на коробление деталей, изготовленных из титанового сплава ВТ6**

**Токачев Данила Александрович, Забенько Евгений Владимирович,**

**Шкарина Ксения Петровна**

Научный руководитель – Ляховецкий М.А.

МАИ, Москва

**Ключевые слова:** лазерная ударная обработка, остаточные напряжения, коробление деталей, усталостная прочность

Одним из факторов, снижающих ресурс и надёжность двигателя, является попадание посторонних предметов в проточную часть двигателя [2]. Согласно статистическому исследованию авторов [1], около 9% причин отказа лопаток и диска газотурбинного двигателя приходится на попадание посторонних предметов, из-за чего на кромках лопаток образуются забоины и микротрещины. Под действием циклических нагрузок в месте дефекта происходит зарождение и рост усталостной трещины, которая может привести к отрыву пера рабочей

лопатки ГТД. Для решения этой проблемы используются как конструкторские, так и технологические подходы. В качестве конструкторских решений могут использоваться защитные сетки или инерционные системы очистки воздуха. Наиболее распространёнными технологическими способами увеличения ресурса и надёжности деталей газотурбинных двигателей является использование методов поверхностного пластического деформирования (ППД) на этапе финишной обработки: обкатка роликами, дробеударная обработка шариками, ультразвуковая обработка и другие [3].

Новым методом для отечественной промышленности является лазерная ударная обработка (ЛУО) [4]. При ЛУО на обрабатываемую поверхность наносится абляционный слой, который под воздействием импульсного лазерного излучения испаряется с образованием высокотемпературной плазмы. Давление плазмы, действующее на поверхность детали, вызывает пластическую деформацию её приповерхностного слоя и формирование остаточных напряжений сжатия, что способствует повышению усталостной прочности материала. Лазерная ударная обработка обладает следующими преимуществами относительно традиционных методов обработки: глубина залегания остаточных напряжений при обработке лазером выше; минимальное изменение шероховатости; отсутствие механического контакта; высокая точность и локальность воздействия.

В результате обработки, из-за больших значений и глубин залегания остаточных напряжений образуются изгибающие моменты, которые приводят к изменению геометрии детали. Наиболее чувствительны к этому явлению - тонкостенные элементы, такие как рабочие лопатки газотурбинного двигателя. Изменение геометрии этих деталей может привести к газодинамическим потерям и уменьшению КПД компрессора. Таким образом, при выборе режима обработки необходимо учитывать изменение геометрии детали.

Данная работа посвящена разработке и валидации численной модели коробления ЛУО. В работе представлены экспериментальные и численные зависимости влияния интенсивности лазерного излучения и стратегий обработки на степень коробления образцов и деталей. Для валидации численного моделирования были обработаны пластинки размером 5x30 мм, толщиной 1 мм, также варьировались значения энергии и степени перекрытия пятен: 500 мДж, 675 мДж и 850 мДж; перекрытие 30%, 45% и 60%.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №FSFF-2023-0006.

#### Список использованных источников:

1. Lv J. H., Wang W. Z., Liu S. W. Statistical analysis of failure cases in aerospace //International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering. - 2018. - T. 12. - No. S. - C. 497-501. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13166162>.

2. Строкач, Е. А. Моделирование эрозионного износа титанового сплава высокоскоростным потоком частиц / Е. А. Строкач, Г. Д. Кожевников, А. А. Пожидаев, С. В. Добровольский // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). - 2023. - Т.25, № 4. - С. 268-283. DOI: 10.17212/1994-6309-2023-25.4-268-283

3. Коновалов, Д. И. Метод ультразвукового упрочнения поверхностей узлов и деталей авиационных газотурбинных двигателей как одна из перспективных технологий в авиастроении / Д. И. Коновалов, Г. Г. Ширванъянц. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2015. - № 22(102). - С. 141-147.-URL: <https://moluch.ru/archive/102/23126>.

4. Королев, Д. Д. Влияние режимов лазерного ударного упрочнения на физикомеханические свойства поверхностного слоя алюминиевого сплава D16 / Д. Д. Королев, Г. Д. Кожевников, Д. А. Токачев, М. А. Ляховецкий, Ю. В. Петухов // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. — 2023. — № 4. - С. 159-166.

**Исследование изменения формы деталей из титанового сплава ВТ6, вызванной остаточными напряжениями, возникающими после лазерной ударной обработки**  
**Токачев Данила Александрович, Забенько Евгений Владимирович, Шкарина Ксения**  
**Петровна**

Научный руководитель – Ляховецкий М.А.

МАИ, Москва

Ключевые слова: лазерная ударная обработка, остаточные напряжения сжатия, коробление деталей, усталостная прочность

Одним из факторов, снижающих ресурс и надёжность двигателя, является попадание посторонних предметов в проточную часть двигателя [2]. Согласно статистическому исследованию авторов [1], около 9% причин отказа лопаток и диска газотурбинного двигателя приходится на попадание посторонних предметов, из-за чего на кромках лопаток образуются забоины и микротрешины. Под действием циклических нагрузок в месте дефекта происходит зарождение и рост усталостной трещины, которая может привести к отрыву пера рабочей лопатки ГТД. Для решения этой проблемы используются как конструкторские, так и технологические подходы. В качестве конструкторских решений могут использоваться защитные сетки или инерционные системы очистки воздуха. Наиболее распространёнными технологическими способами увеличения ресурса и надёжности деталей газотурбинных двигателей является использование методов поверхностного пластического деформирования

(ППД) на этапе финишной обработки: обкатка роликами, дробеударная обработка шариками, ультразвуковая обработка и другие [3].

Новым методом для отечественной промышленности является лазерная ударная обработка (ЛУО) [4]. При ЛУО на обрабатываемую поверхность наносится абляционный слой, который под воздействием импульсного лазерного излучения испаряется с образованием высокотемпературной плазмы. Давление плазмы, действующее на поверхность детали, вызывает пластическую деформацию её приповерхностного слоя и формирование остаточных напряжений сжатия, что способствует повышению усталостной прочности материала. Лазерная ударная обработка обладает следующими преимуществами относительно традиционных методов обработки: глубина залегания остаточных напряжений при обработке лазером выше; минимальное изменение шероховатости; отсутствие механического контакта; высокая точность и локальность воздействия.

В результате обработки, из-за больших значений и глубин залегания остаточных напряжений образуются изгибающие моменты, которые приводят к изменению геометрии детали. Наиболее чувствительны к этому явлению - тонкостенные элементы, такие как рабочие лопатки газотурбинного двигателя. Изменение геометрии этих деталей может привести к газодинамическим потерям и уменьшению КПД компрессора. Таким образом, при выборе режима обработки необходимо учитывать изменение геометрии детали.

Данная работа посвящена разработке и валидации численной модели коробления ЛУО. В работе представлены экспериментальные и численные зависимости влияния интенсивности лазерного излучения и стратегий обработки на степень коробления образцов и деталей.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №FSFF-2023-0006.

Список использованных источников:

1. Lv J. H., Wang W. Z., Liu S. W. Statistical analysis of failure cases in aerospace //International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering. - 2018. - Т. 12. - №. S. - С. 497-501. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13166162>.
2. Строкач, Е. А. Моделирование эрозионного износа титанового сплава высокоскоростным потоком частиц / Е. А. Строкач, Г. Д. Кожевников, А. А. Пожидаев, С. В. Добровольский // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). - 2023. - Т.25, № 4. - С. 268-283. DOI: 10.17212/1994-6309-2023-25.4-268-283
3. Коновалов, Д. И. Метод ультразвукового упрочнения поверхностей узлов и деталей авиационных газотурбинных двигателей как одна из перспективных технологий в авиастроении / Д. И. Коновалов, Г. Г. Ширванъянц. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2015.- № 22(102). - С. 141-147.-URL: <https://moluch.ru/archive/102/23126>.

4. Королев, Д. Д. Влияние режимов лазерного ударного упрочнения на физикомеханические свойства поверхностного слоя алюминиевого сплава Д16 / Д. Д. Королев, Г. Д. Кожевников, Д. А. Токачев, М. А. Ляховецкий, Ю. В. Петухов // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. — 2023. — № 4. - С. 159-166.

**Программный комплекс оценки эффективности обнаружения наземных объектов  
авиационным разведывательным комплексом  
при воздействии активных шумовых помех**

**Трошин Кирилл Сергеевич, Перовская Анна Романовна**

Научный руководитель - Скрипниченко Ю.С.

МАИ, Москва

**Ключевые слова:** оценка эффективности, разведывательный авиационный комплекс, радиоэлектронная борьба, сценарии операции, вероятность обнаружения, авиационная система, программный комплекс, активные шумовые помехи, постановщик помех, системный анализ, математическое моделирование, исследование операций

Разведывательные авиационные комплексы широко используются в задачах обнаружения наземных объектов, в том числе, в условиях активного информационного противодействия. Современные военные конфликты характеризуются интенсивным использованием средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Способность вести разведку и поражать цели в условиях радиоэлектронного подавления продолжает оставаться ключевым свойством вооруженных сил для достижения превосходства на поле боя. При создании авиационной техники необходимо учитывать, что любая современная авиационная система должна быть готова к работе в сложной помеховой обстановке. На ранних стадиях проектирования разведывательных авиационных комплексов необходимо обладать значительным набором инструментов для проведения оценок эффективности рассматриваемых технических решений в широком диапазоне исследуемых характеристик.

В ходе выполнения работы был создан программный комплекс для оценки эффективности разведывательных авиационных комплексов при обнаружении наземных объектов в условиях активных шумовых помех. Проведено математическое моделирование нескольких возможных сценариев операций с различными входными данными. В работе были применены подходы к созданию систем моделирования в интересах внешнего проектирования авиационных комплексов, описанные в работах [1-6].

Была сформулирована постановка задачи: необходимо разработать программный комплекс, который позволит выбрать рациональные решения для каждого рассматриваемого сценария. Под рациональным решением понимается найденный с помощью комплекса набор условий и параметров, который обеспечивает выполнение авиационным комплексом

поставленной разведывательной задачи в условиях радиоэлектронного противодействия. Критерием выбора рационального решения является  $P_{\text{обн}}$  - вероятность обнаружения.

На рисунке 1 приведена структурная схема технологии работы программного комплекса оценки эффективности обнаружения наземных объектов авиационным разведывательным комплексом при воздействии активных шумовых помех.

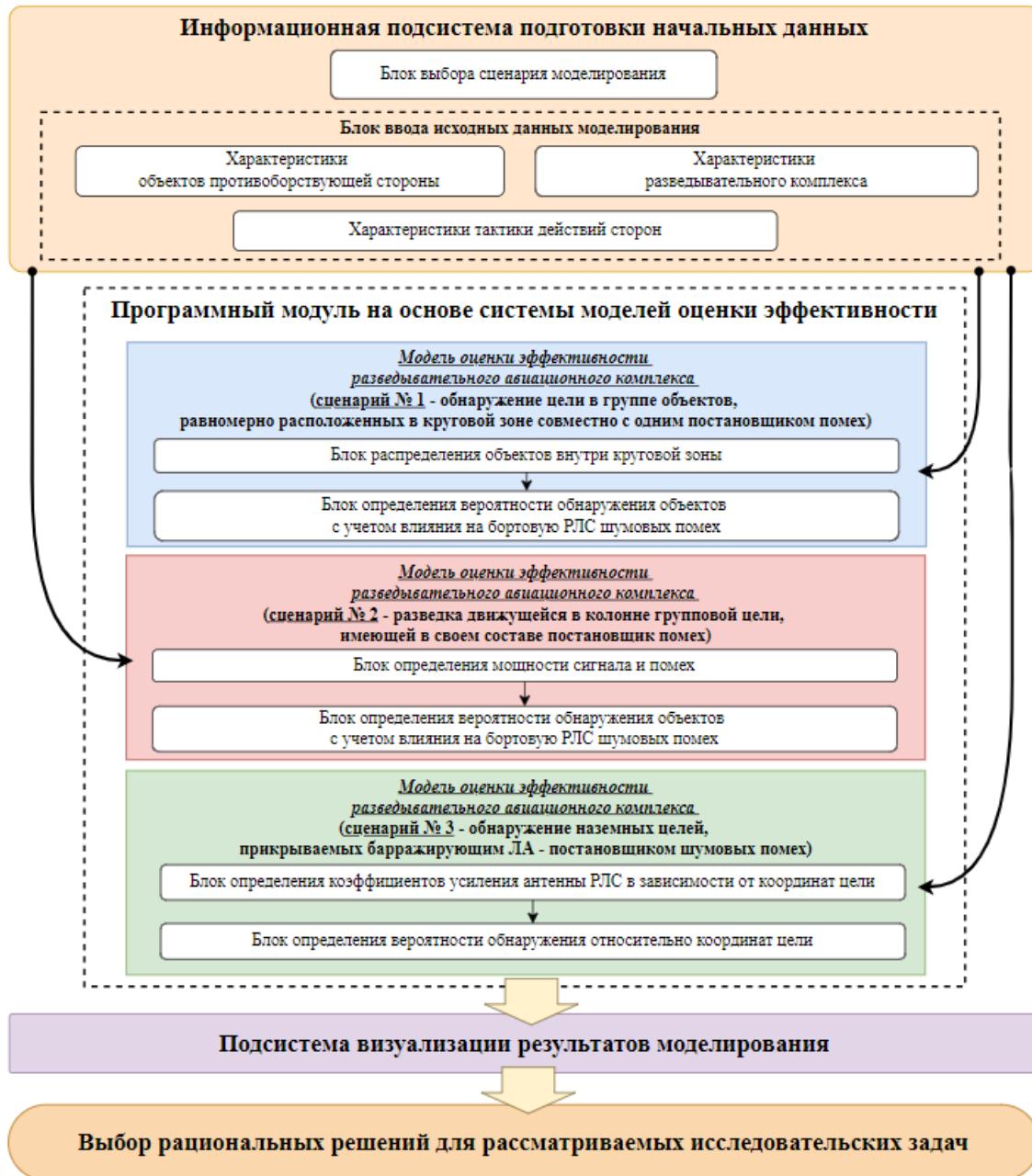


Рис. 1 -Структурная схема технологии работы программного комплекса оценки эффективности обнаружения наземных объектов авиационным разведывательным комплексом при воздействии активных шумовых помех

Программный комплекс имеет следующую структуру:

1. Блок выбора сценария (в составе информационной системы подготовки начальных данных). Происходит выбор из предложенных сценариев:

- сценарий 1 – обнаружение цели в группе объектов, равномерно расположенных в круге радиусом  $r$  совместно с одним ПП ( постановщиком помех)
- сценарий 2 – разведка движущейся в колонне групповой цели, имеющей в своем составе ПП.
- сценарий 3 – обнаружение наземных целей, прикрываемых барражирующим ЛА-постановщиком активных шумовых помех.

2. Блок ввода исходных данных (так же в составе информационной системы подготовки начальных данных) – могут быть введены следующие исходные данные для трех рассматриваемых сценариев применения разведывательных авиационных комплексов:

- сценарий операции 1:  $\theta$  – угол между объектами группы и постановщиком помех;  $r$  – радиус круга, в котором равномерно расположены группы объектов совместно с одним ПП;
- сценарий операции 2:  $F_{\text{лт}}$  – вероятность ложных тревог;  $q_0$  – “эталонное значение” отношения сигнал/шум по мощности;  $P_{10}G_{10}$  – энергетический потенциал РЛС;  $P_{\text{п}}G_{\text{п}}$  – энергетический потенциал ПП;  $\sigma$  – ЭПР объекта;  $\theta_0$  – ширина главного луча направленности;  $D$  – дальность по линии траверса от РЛС АК до сложной цели;  $D_{\text{п}}$  – дальность от АК до ПП;  $D_{c0}$  – паспортная дальность;  $\mu$  – коэффициент, учитывающий качество позиции размещения антенны;
- сценарий операции 3:  $Y_{\text{п}}$  – координата ПП по вертикальной оси;  $X_{\text{п}}$  – координата цели по горизонтальной оси;  $X_{\text{п}}$  – координата ПП по горизонтальной оси;  $F_{\text{лт}}$  – вероятность ложных тревог;  $\sigma$  – ЭПР объекта;  $\theta_0$  – ширина главного луча направленности;  $G_{10}$  – коэффициент усиления антенны РЛС;  $P_{\text{п}}$  – мощность станции помех;  $G_{\text{п}}$  – коэффициент усиления антенны станции помех;  $P_{10}$  – мощность сигнала антенны РЛС;  $\mu$  – коэффициент, учитывающий качество позиции размещения антенны;  $D_{c0}$  – паспортная дальность;  $q_0$  – “эталонное значение” отношения сигнал/шум по мощности.

3. Программный модуль на основе системы моделей оценки эффективности. В нем определяется вероятность обнаружения наземной цели (1) для набора рассматриваемых сценариев и условий применения разведывательного авиационного комплекса на основе методов, описанных в работах [7-9].

$$\overline{P_{\text{обн}}}(D) = \int_0^{\theta_{\text{max}}} P_{\text{обн}}(D, \theta) W(\theta) d\theta \quad (1)$$

Программный модуль основан на трех моделях оценки эффективности разведывательного авиационного комплекса для каждого сценария применения.

Модель оценки эффективности разведывательного комплекса (для сценария № 1) предназначена для определения вероятности обнаружения цели в группе объектов, равномерно расположенных в круге радиусом  $r$  совместно с одним ПП. Модель состоит из блока

распределения объектов внутри круговой зоны блока определения вероятности обнаружения объектов с учетом влияния на бортовую РЛС шумовых помех.

Модель оценки эффективности разведывательного комплекса (сценарий № 2) предназначена для определения вероятности обнаружения движущейся в колонне групповой цели, имеющей в своем составе ПП. Данная модель состоит из блоков определения мощности сигнала и помехи; блока определения вероятности обнаружения объектов с учетом влияния на бортовую РЛС шумовых помех.

Модель оценки эффективности разведывательного комплекса (сценарий № 3) предназначена для определения вероятности обнаружения наземных целей, прикрываемых барражирующим ЛА-постановщиком активных шумовых помех. Модель состоит из блока определения коэффициентов усиления антенны РЛС в зависимости от координат цели и блока определения вероятности обнаружения относительно координат цели.

4. Подсистема визуализации результатов моделирования является важной частью разработанного программного комплекса и обладает функциями ввода параметров исходных данных и возможностью отображения результатов, полученных в ходе вычислений, в виде графиков. На основе приведенных результатов моделирования исследователем производится выбор рационального решения (выбор технических или тактических характеристик для рассматриваемых задач и условий).

Программно-алгоритмический комплекс разработан с использованием языка программирования C++ в среде разработки QT Creator. С помощью него было проведено математическое моделирование, которое демонстрирует работоспособность применяемых методик, программного модуля и системы визуализации получаемых параметров, в том числе получены результаты для разных сценариев операции и рассматриваемых условий.

Разработанный инструмент может быть использован для выбора рациональных технических решений и тактических способов применения перспективных разведывательных систем, которые функционируют в условиях радиоэлектронного противодействия.

Список использованных источников:

5. Жеребин А.М., Егрицин М.А., Савинков Н.Т., Скрипниченко Ю.С., Малафеев И.В. Концепция обоснования функционально-технических характеристик авиационных боевых комплексов и вооружения // Передача, приём, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах: Сборник статей, Сочи, 01–10 октября 2024 года. – Москва: ИД Академии Жуковского, 2025. – С. 176-181.

6. И.В. Малафеев, Ю.С. Скрипниченко, А.Р. Морина, Н.Б. Топоров Разработка модельно-методического аппарата формирования облика разведывательного беспилотного летательного аппарата // Моделирование авиационных систем: Сборник тезисов докладов V Всероссийской

научно-технической конференции, Москва, 29–30 ноября 2023 года. – Москва: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2023. – С. 34-35.

7. И.В. Малафеев, Ю.С. Скрипниченко, Р.А. Акулов, А.И. Широков Разработка модельно-методического аппарата формирования обликовых характеристик беспилотного летательного аппарата, применяемого в операциях на морском театре военных действий // Моделирование авиационных систем: Сборник тезисов докладов V Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 29–30 ноября 2023 года. – Москва: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2023. – С. 30-31.

8. Скрипниченко Ю.С., Егрицин М.А., Савинков Н.Т., Морина А.Р., Малафеев И.В. Программно-алгоритмический комплекс оценки эффективности авиационных комплексов в операциях разведки надводных объектов // Моделирование авиационных систем: Сборник тезисов докладов VI Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 20–21 ноября 2025 года. – Москва: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2025. – С. 33-35.

9. Топоров Н.Б., Скрипниченко Ю.С., Малафеев И.В., Вавилов Д.С., Русак М.А. Комплекс ситуационного моделирования как основа системы поддержки принятия решений в области авиастроения в современных условиях Физико-техническая информатика (СРТ2021-2022) : Материалы Международной конференции, Пущино, 16–20 мая 2022 года. – Нижний Новгород-Москва-Пущино: Автономная некоммерческая организация в области информационных технологий "Научно-исследовательский центр физико-технической информатики", 2022. – С. 114-119.

10. Ивенин И.Б., Малафеев И.В., Свободин В.С., Скрипниченко Ю.С. Моделирование конфликта в поддержку задач внешнего проектирования перспективной авиационной техники // Моделирование авиационных систем: Сборник тезисов докладов V Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 29–30 ноября 2023 года. – Москва: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2023. – С. 29-30.

11. Мельников Ю.П. Воздушная активно-пассивная разведка надводных кораблей. Методы оценки эффективности. Издательство: Радиотехника, Москва 2017.

12. Мельников Ю. П. Методы оценки помехозащищенности активно-пассивной разведки надводных кораблей с борта летательного аппарата в условиях применения средств РЭП и мер увеличения скрытности / Ю. П. Мельников // Успехи современной радиоэлектроники. – 2019. – № 1. – С. 26-46.

13. Мельников Ю.П. Методы статистического учета взаимного расположения объектов в групповой цели и их использование при оценке помехоустойчивости бортовых РЛС // Радиотехника. 2002. № 9.

## Обтекатель бортовой антенной системы

Цыганюк Алексей Олегович

Научный руководитель - Кондратьева С. Г.

МАИ, Москва

Ключевые слова: обтекатель, радиопрозрачный, электродинамические параметры, диэлектрическая проницаемость

Обтекатель бортовой антенной системы является одним из важных элементов конструкции носителя, в значительной степени определяющий аэродинамические характеристики и точность наведения на цель. Основное типовое требование, предъявляемое к обтекателям – минимальная масса при обеспечении достаточной прочности и надежности.

В связи с широким применением инфракрасных и радиолокационных систем управления обтекатели, как головные, так и расположенные на корпусе носителя должны обладать комплексом радиотехнических свойств.

В работе проводится обзор методов измерения электродинамических параметров материалов, применяемых при проектировании радиопрозрачного материала для современной авиационной и космической техники.

Рассмотрены подходы к определению диэлектрической и магнитной проницаемости, отмечены их преимущества и недостатки.

В качестве материалов для анализа были выбраны десять радиопрозрачных материалов, применяемых в изготовлении обтекателей, отличающихся значениями диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь. Для каждого материала было проведено численное исследование коэффициента прохождение ( $S_{21}$ ) и коэффициента стоячей волны (КСВ) в диапазоне частот 8-12 ГГц с использованием метода линии передачи. По результатам анализа удовлетворяющими заданным требованиям - коэффициент прохождения  $S_{21}$  не менее -1 дБ, коэффициент стоячей волны (КСВ) меньше 2, были выделены три материала: «395», «КМ-33», «МСП-КД».

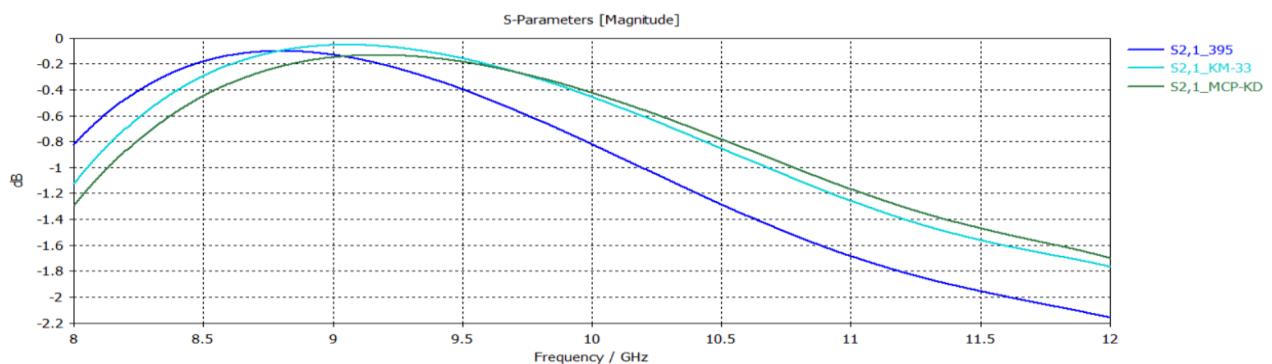


Рис. 1 – Коэффициенты прохождения  $S_{21}$  материалов, удовлетворяющих требованиям

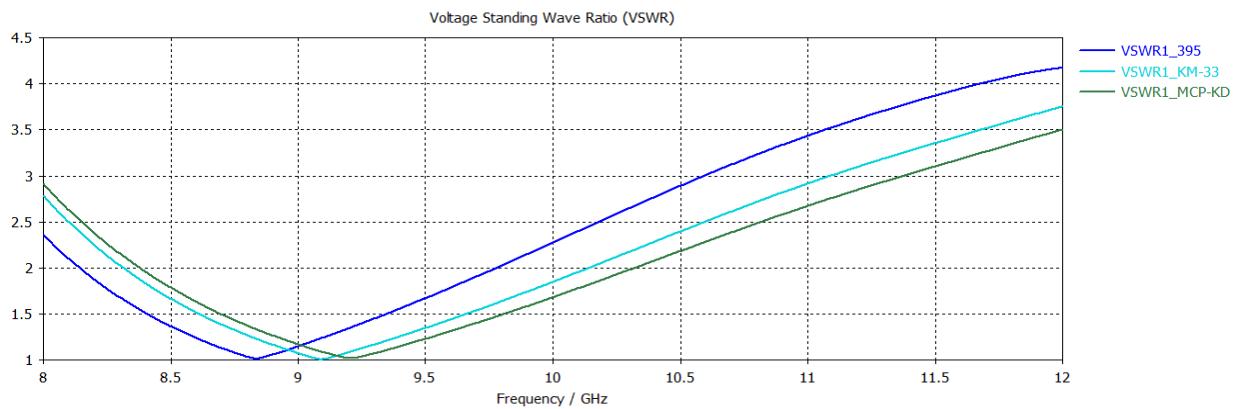


Рис. 2 – КСВ материалов, удовлетворяющих требованиям

Для оценки влияния выбранных материалов на работу антенной системы построена математическая модель системы «антенна-обтекатель». В качестве излучателя в модели использовалась рупорная антенна, параметры которой соответствуют рабочей частоте 9 ГГц. Выполнено моделирование диаграмм направленности антенны, как без обтекателя, так и под обтекателями из исследуемых материалов. В таблице 1 представлены результаты полученных измерений.

Табл. 1 – Результаты исследований

Характеристики ДН	ДН рупорной антенны	ДН рупорной антенны с обтекателем из материала «395»	ДН рупорной антенны с обтекателем из материала «КМ-33»	ДН рупорной антенны с обтекателем из материала «МСП-КД»
КУ, дБи	14.6	15.1	15.4	15.4
УБЛ, дБ	-14.3	-2.8	-3.9	-2.9
Ширина ДН, °	36.6	31.7	31	31.7
«Провал» главного лепестка, дБ	–	2.75	3.1	3.24

Полученные результаты показали неизбежные искажения диаграммы направленности из-за интерференции и фазовых искажений, возникающих при прохождении волны через стенку обтекателя. Сравнительный анализ основных характеристик позволил установить, что наилучшие показатели демонстрирует материал «395».

Построенная математическая модель позволила подтвердить применимость выбранного материала и оптимизировать процесс проектирования РПО без необходимости изготовления большого числа экспериментальных образцов. Таким образом, исследование демонстрирует эффективность численного подхода при выборе материалов для радиопрозрачных обтекателей.

Список использованных источников:

1. Химич А. В. Конструктивное исполнение головных обтекателей: мат. всеросс. науч.-методич. конф. "Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры". — Оренбург: Оренбургский гос. ун-т, 2016. С. 263—268.
2. Гуртовник И. Г., Соколов В. И., Трофимов Н. Н., Шалгунов С. Г. Радиопрозрачные изделия из стеклопластиков. — М.: Мир, 2002. — 368 с.
3. Русин М.Ю. Исследование технологии обеспечения радиотехнических характеристик радиопрозрачных обтекателей летательных аппаратов в условиях их разработки и производства. // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. Сб. научных трудов Гос. аэрокосмич. Ун-та им П.Е. Жуковского (ХАИ). Х.: ХАИ, 2000. вып. 22(5). С.6-12.
4. Ромашин А.Г., Гайдачук В.Е., Карпов Я.С, Русин М.Ю. Радиопрозрачные обтекатели летательных аппаратов. // Учебн. Пособие. Харьков «ХАИ», 2003. 238с.
5. Русин М.Ю. От технического задания на разработку – к экспорту обтекателей // Наука производства. № 9–1999. С. 14-17
6. Гольдштейн Л. Д., Зернов Н.В. Электромагнитное поля и волны. М.: Сов. радио, 1971.
7. «Basics of measuring the dielectric properties of materials» application note, Agilent
8. Иродов И.Е. «Электромагнетизм. Основные законы» М.: БИНОМ 2010
9. Чечерников В.И. «Магнитные измерения». М.: Изд. МГУ 1969
10. J. Baker-Jarvis, E. J. Vanzura, and W. A. Kissick, “Improved technique for determining complex permittivity with the transmission/reflection method,” IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-38, No. 8, pp. 1096-1103, Aug. 1990.
11. Kuek Chee Yaw “Measurement of Dielectric Material Properties” application note, Rohde-Schwarz 2012

**Исследование влияния температуры на многокомпонентные  
аэродинамические поверхности**  
**Черкасов Матвей Сергеевич, Шалынков Сергей Алексеевич**  
Научный руководитель – д.т.н., проф. Дунаев В.А.

ТулГУ, Тула

Ключевые слова: детательный аппарат (АП), аэродинамическая поверхность (АП), масса, элемент, материал

Одной из наиболее важных проблем в современной технике является облегчение конструкции за счёт использования более лёгких материалов, но различные условия

применения накладывают свои ограничения и основным из них для летательных аппаратов (ЛА), работающих на больших скоростях, является высокая температура, которая приводит к тепловой деформации элементов, созданных из легкоплавких материалов. В данной статье будут рассмотрены варианты использования теплостойких материалов в качестве наконечников аэродинамических поверхностей (АП) ЛА.

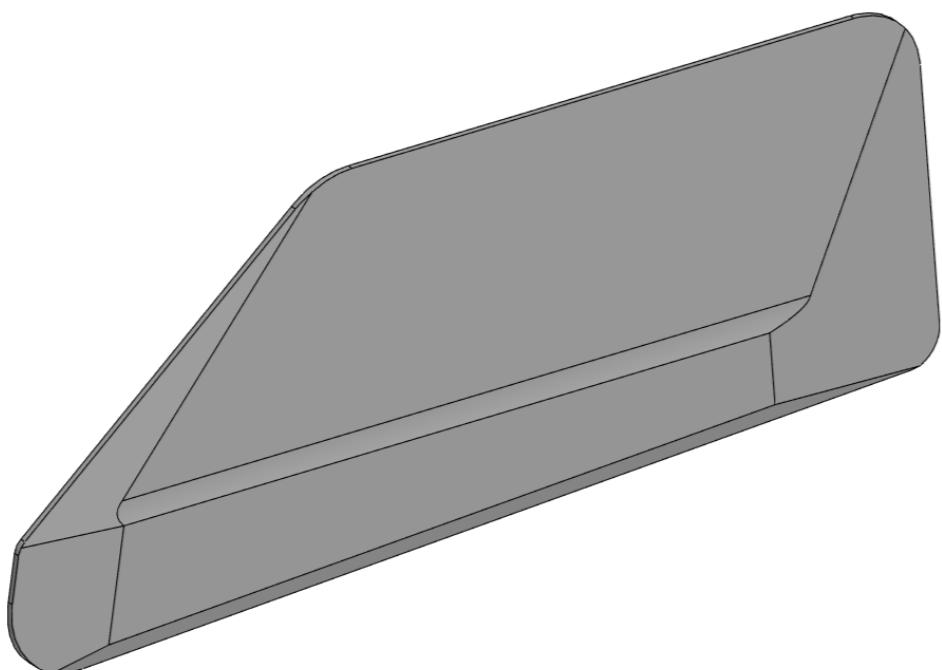
Целью данного исследования является проверка возможности использования многокомпонентных АП, а также получение данных о влиянии температур на данные конструкции в ход полёта на сверхзвуковых скоростях. К задачам проекта относятся:

- Создание 3Д моделей АП из одного материала и многокомпонентных;
- Компьютерное моделирование процессов аэродинамического нагрева конструкций;
- Проверка выгодности предложенного технического решения в зависимости от результатов;

Объектом исследования являются: материалы (таблица 1) для наконечника и тела АП, а также АП ЛА (рис. 1).

Материал	Элемент	Температура плавления, °C	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
12Х18Н9	Руль целиком	1400	7930
ВК10КС	Наконечник	1425	14200
ВТ30	Наконечник	1660	8000
ВКУ-14	Тело АП	380	1600
АМг1	Тело АП	640	2690

Таблица 1 – материалы для исследований



### Рис. 1 – исследуемая аэродинамическая поверхность

Актуальность данной темы обусловлена разнообразием требований к эффективности ЛА. В связи с увеличением скорости и высоты полёта, при которых работают аэродинамические органы управления, что приводит к температурным нагрузкам на АП, что влияет на прочность элементов. Понимание взаимодействия температурных градиентов и аэродинамических условий позволяет оптимизировать конструкции, улучшать материалы и увеличивать общую эффективность летательных аппаратов. Кроме того, результаты таких исследований могут внести значительный вклад в развитие технологий, направленных на создание высокоэффективных авиационных систем, что делает данную тему особенно важной в контексте устойчивого развития ракетной и авиационной технике.

В современной технике существует много технических решений, например, иглы на головных обтекателях ракет или охлаждающие «щиты» [2], используемые на космических аппаратах, а также использование теплозащитных покрытий, но сейчас из-за стремительного развития материалов появилась возможность уменьшения массы конструкции за счёт создания многокомпонентных аэродинамических элементов. На данный момент в основном используются АП созданные единым элементом или по кессонной схеме из лонжеронов, нервюра и обшивки. У каждого из вариантов присутствуют отрицательные стороны у моноблочных элементов основной проблемой является большая масса элемента, а кессонная схема сложна в изготовлении и имеет большие размеры, что исключает её использование в ЛА малых размеров. Предлагаемый вариант исключает основные минусы используемых конструкций.

Основными принципами действия предложенного варианта являются срывание потока на наконечнике АП, что обеспечивает надёжную защиту основного тела от аэродинамического нагрева.

Были проведены работы по моделированию и расчётам в программных комплексах, получены результаты, которые позволили определить возможность и способы создания представленного варианта, а также вычислить оптимальную комбинацию материалов для реализации данного типа АП.

Работа выполнена в рамках соглашения о развитии №6 от 31.10.24 конструкторского бюро «Беспилотные авиационные системы».

Список использованных источников:

1. Справочник по конструкционным материалам (2005) Под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой.

2. Патент RU2404087C1 «Термоэмиссионный способ тепловой защиты частей летательных аппаратов при их аэродинамическом нагреве», Inventor Владимир Андреевич Керножицкий (RU) Владимир Андреевич Керножицкий Алексей Васильевич Колычев.

### **Усилитель звука для системы акустического оповещения**

### **беспилотных воздушных судов**

**Юров Тимофей Данилович, Земсков Петр Андреевич**

Научный руководитель – Баранов А. М.

МАИ, Москва

Ключевые слова: усилители звука, звуковые волны, амплитудные модуляции, акустические системы, усиление звука

В современном мире беспилотники активно эксплуатируются в разных отраслях человеческой жизни, таких как логистика, спасательные операции, сельское хозяйство и многие другие. При проведении спасательных операций очень важно вовремя оповестить человека об опасности для этого беспилотникам необходимо не только принимать и обрабатывать информацию, но и доступно доносить её до окружающих с помощью системы акустического оповещения. Для снижения шумовых помех и для улучшения качества звука, воспроизводимого беспилотником, используются звуковые усилители [1].

Усилители звука — это устройства, которые изменяют сигнал, подающийся на динамик, увеличивая его амплитуду. Существует множество видов усилителей звука, такие как ламповые, транзисторные и цифровые. Каждый из них использует уникальный принцип работы для изменения амплитуды сигнала.

Ламповые усилители звука используют триоды, которые при нагреве выпускают электроны с катода к аноду, а управляющая сетка, расположенная между ними, позволяет управлять потоком электронов за счёт подачи на неё определённого потенциала, тем самым позволяя изменять амплитуду сигнала [2]. Так, например, при подаче отрицательного потенциала на сетку поток электронов уменьшится, а при подаче положительного — поток электронов увеличится. Достоинствами таких моделей является большой акцент на средних частотах и мягкий звук, а к недостаткам можно отнести малое КПД, большие габариты и необходимость большого тока.

Транзисторные усилители используют свойства транзистора изменять сигнал, проходящий через коллектор и эмиттер, за счёт подачи малого тока на базу. Таким образом, меняя ток, направленный в базу, мы можем менять амплитуду сигнала. Существуют разные классы транзисторных усилителей, обладающих разными характеристиками, но в общем случае транзисторные усилители имеют неплохой КПД и слабо заметные искажения звука.

Цифровой усилитель преобразует полученный сигнал в ШИМ-сигнал, который можно легко усилить с минимальными потерями, а затем к сигналу применяется специальный фильтр, восстанавливающий из него звуковую волну [3]. Как и транзисторные усилители, этот вид усилителей использует транзисторы для усиления сигнала, ключевая особенность заключается в усилении ШИМ-сигнала, а не исходного. К основным особенностям такого вида относятся высокая энергоэффективность и звук, сравнимый с транзисторными усилителями.

Целью моего научного исследования является анализ видов усилителей звука и изучение предназначения усилителей звука для системы оповещения БПЛА.

Исследования подтверждают обширную область применения усилителей звука. Ламповые усилители используют в основном в бытовых стереосистемах для получения “мягкого” звука или применяют в профессиональных гитарных усилителях. Их главными недостатками являются большие габариты и перегрев, из-за чего они плохо подходят для БПЛА. Транзисторные и цифровые усилители, в свою очередь, имеют намного более широкую область применения и больше подходят для системы оповещения БПЛА, так как они энергоэффективны и имеют хорошую помехоустойчивость.

Список использованных источников:

1. Патент № 2811498 С1 Российская Федерация, МПК B60Q 5/00, G10K 15/04. Способ звукового оповещения для транспортных средств с низким уровнем шума : № 2023113277 : заявл. 23.05.2023 : опубл. 12.01.2024 / Д. В. Кузнецов, А. А. Севашов, Е. В. Талачев [и др.] ; заявитель ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "КАР СИСТЕМС".
2. Пестриков, В. М. Изобретение электронного лампового усилителя звуковой частоты / В. М. Пестриков // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. – 2020. – Т. 3, № 4. – С. 433-455.
3. Хонда, Д. Усилитель звуковой частоты класса D на основе микросхемы IRS2093M / Д. Хонда // Компоненты и технологии. – 2010. – № 8(109). – С. 86-89.

## Алфавитный указатель

- Абашев В.М., 72  
Абраменков С. О., 6  
Агамиров В.Л., 19  
Алёшин А.А., 9  
Балагур Е.Р., 11  
Баранов А. М., 139  
Баранов А.М., 46, 82  
Батраков А.С., 50  
Блудов А.А., 13  
Бобылёв А.А., 64  
Бродский А.В., 48  
Брыкин В.А., 64  
Ванцов С.В., 6, 43  
Васильев Ф.В., 67, 91  
Власова С. В., 116  
Власова С.В., 96  
Войтухов М.Р., 79  
Вуколов А.А., 15, 56  
Гаджиев Э.В., 15, 56  
Гапоненко М.В., 123  
Городецкий А.И., 18  
Денисов А.А., 73  
Дунаев В.А., 137  
Дыбалева А.П., 19  
Егрицин М.А., 22  
Екимовская А. А., 26  
Екимовская А.А., 29  
Елисеев П.А., 32  
Ермолаева Е. Н., 9  
Жало А.Е., 33  
Забенько Е.В., 38, 125, 127  
Зайцев К.С., 39  
Зайцева А.Е., 43  
Земсков П.А., 46, 82, 139  
Кадыков И.Д., 48  
Каучакова М.А., 50  
Кашлев М.В., 53  
Киселев А.Е., 15, 56  
Кондратьева С. Г., 134  
Коробков М.А., 53, 65, 118, 123  
Коробкова А.В., 60  
Коробов К.С., 64  
Королев Д.Д., 38  
Круглянкин В.С., 65  
Куприянов А.И., 106  
Кучук Е.А., 67  
Кыржэу Д.А., 69  
Лавриненко С.А., 118  
Лазарева А.А., 72  
Ларькин А.В., 73  
Лебедев В.В., 26, 29, 113  
Лийн Е.А., 32  
Лисняк А.О., 32  
Лысаковский И.Д., 75  
Ляховецкий М.А., 38, 125, 127  
Макаренкова Н.А., 60  
Малафеев И.В., 75, 87, 108  
Манченко Г.В., 79  
Мартынов В.К., 82  
Мирский Б.С., 22  
Мыскин Д.Н., 101  
Огородников С.С., 13  
Одинцов А.В., 84  
Ошарин В.П., 84  
Перовская А.Р., 108, 129  
Перовский Д.Д., 87  
Петров А.В., 91  
Полуэктов Р.М., 121  
Поляков Л.В., 93  
Попова С.Е., 96  
Прокопенко Д.А., 99  
Прокофьев С.А., 118  
Радченко И.А., 99  
Рачонок Е.В., 75  
Рипецкий А.В., 64  
Русак М.А., 22, 101  
Сабитов Р.А., 72  
Савинков Н.Т., 101  
Савосина А.А., 106  
Самойлова К.И., 73  
Саплин-Силановицкий И.Ю., 6  
Склеймин Ю. Б., 19  
Скрипниченко Ю.С., 87, 129  
Смоленков А.Р., 108  
Солдатенко В.П., 113  
Солобоева Н.В., 116  
Степанов А.С., 118  
Суворкин В.А., 121  
Султанов А.Р., 123  
Терёхин О.В., 39  
Терешонков В. А., 18  
Токачев Д.А., 38, 125, 127  
Третьякова М.Ф., 65  
Трошин К.С., 129  
Хасболатов А.К., 64  
Цыганюк А.О., 134  
Чемоданов В.Б., 73  
Черкасов М.С., 137  
Черновский Н.В., 123  
Шалынков С.А., 137  
Шилин П.Д., 69, 93  
Шкарина К.П., 38, 125, 127  
Шмачилин П.А., 11, 33  
Юров Т.Д., 139



9 785002 705436

**Сборник трудов XVIII Всероссийской студенческой научной школы  
«Аэрокосмическая декада»**

Издательство «Перо»  
109052, Москва, Нижегородская ул., д. 29-33, стр. 27, ком. 105  
Тел.: (495) 973-72-28, 665-34-36  
Подписано к использованию 30.12.2025.  
Объем Мбайт. Электрон. текстовые данные. Заказ 1432.