

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)**

**ИРКУТСКИЙ ФИЛИАЛ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»  
(МГТУ ГА)**

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ АВИАЦИОННОЙ  
ТЕХНИКИ И МЕТОДОВ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ – 2023**

**СБОРНИК ТРУДОВ**

**XVI Всероссийской научно-практической конференции  
студентов и аспирантов, посвященной празднованию  
100-летия отечественной гражданской авиации**

**7-8 декабря 2023 г.**

**Том 2**

**Иркутск  
2024**

**ББК 052-01**  
**УДК 629.7**  
**А 43**

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

Ответственный редактор –	Горбачев О. А., директор Иркутского филиала МГТУ ГА, д-р техн. наук, профессор
Члены редколлегии –	Шаблов А. В., заместитель директора Иркутского филиала МГТУ ГА по УМР, канд. пед. наук Лежанкин Б. В., заведующий кафедрой АРЭО, канд. техн. наук, доцент Котлов Ю. В., заведующий кафедрой АЭС и ПНК, канд. техн. наук, доцент Сафарбаков А. М., заведующий кафедрой ЛА и Д, канд. техн. наук, доцент Вишнякова А. А., доцент кафедры ТЭиС ВТ, канд. социол. наук Иванова Л. А., заместитель директора по НР, канд. пед. наук, доцент Какаулина С. Т., начальник отдела РИ и НР

А 43 Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации – 2023: сборник трудов XVI Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов, посвященной празднованию 100-летия отечественной гражданской авиации, 7-8 декабря 2023 г. Том 2. – Иркутск: Иркутский филиал МГТУ ГА, 2024.– 340 с.

В сборнике представлены материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов «Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации – 2023», посвященной празднованию 100-летия отечественной гражданской авиации, 7-8 декабря 2023 г.

Сборник предназначен для студентов и аспирантов авиационных специальностей, а также для широкого круга лиц, интересующихся проблемами гражданской авиации.

*Сборник издается в авторской редакции*

© Иркутский филиал МГТУ ГА, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ «ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, АВИАЦИОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ»

**Аглиуллина Э. А., Левшонков Н. В.**

Оценка возможности использования технологии реверс-инжиниринга трубопроводов, установленных на самолете ТУ-214 ..... 9

**Андрютин Н. Н., Словинская Е. И.**

Влияние человеческого фактора на результативность операций по технической эксплуатации воздушных судов ..... 13

**Белоусова Е. В., Павловец А. Л.**

Альтернативные виды топлива для авиационной техники ..... 17

**Биликтуев В. Р., Нацубидзе С. А.**

Технологические процессы определения технического состояния и ремонта носовых обтекателей антенн воздушных судов ..... 23

**Болонкин С. А., Ульянова Н. В.**

ТУ-134УБЛ как бизнес-джет ..... 30

**Борисенко Р. Е., Даниленко Н. В.**

Исследование особенностей использования первого и второго контуров ВРД для форсированных режимов их работы ..... 37

**Бредун Ю. И., Нацубидзе С. А.**

Современные технологические процессы определения технического состояния остекления воздушных судов в условиях эксплуатации ..... 43

**Бурлаченко М. В., Вознюк И. В.**

Положительные факторы изменения конструкции рулевого винта на вертолёте ..... 48

**Вайцель К. В., Уколов С. Д., Галков А. В.**

К вопросу применения гиперзвуковых летательных аппаратов ..... 53

**Вовк М. Р., Фофанов Н. А., Воронцев В. А.**

Изменение ресурсных показателей при применении различных материалов тормозных парашютов самолетов дальней авиации ..... 57

<b>Ган В. А., Дорофеева М. А., Шушарин В. А.</b> Психологические основы безопасности труда системы «Человек-машина».....	61
<b>Ганеев Е. С., Перепелица М. А., Черных К. А., Пелих Е. Г.</b> Развитие технологий и материалов в целях разработки и создания лопаток авиационных двигателей.....	67
<b>Герклец Н. С., Мельников С. Н.</b> Достоинства и недостатки противообледенительной системы авиационных двигателей на примере ТВ2-117АГ И ARRIEL 1.....	73
<b>Дудкина Д. А., Сушко М. Ю.</b> Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации – 2023.....	80
<b>Капранов О. Д., Лобкова Д. А., Веремчук Е. А.</b> Сравнительный анализ вертолетов, применяемых для первоначального обучения курсантов колледжа .....	85
<b>Королев М. Д., Воронцев В. А.</b> Организация длительного хранения авиационной техники резерва в условиях авиационных частей .....	91
<b>Красноштанова В. С., Хороших А. С., Дерганова Д. О., Захаров Р. Н.</b> Совершенствование молниезащиты композитных панелей и обшивок.....	96
<b>Курочкин С. О., Рябчинская П. Д., Левшонков Н. В.</b> Особенности эксплуатации воздушных судов в условиях сильной запыленности .....	105
<b>Курочкин С. О., Шипулин А. Е., Левшонков Н. В.</b> Особенности эксплуатации авиационных двигателей при предельно низких температурах.....	110
<b>Лопатин Н. А., Коновалов Н. Н., Шушарин В. А.</b> Применение теплозащитных покрытий для увеличения жаростойкости лопаток турбины ГТД .....	115
<b>Malaeva P. V., Galyautdinova R. M.</b> Laser welding as a way to reduce aircraft fuel consumption.....	123



<b>Мудриченко Р. Е., Даниленко Н. В.</b> Управление пограничным слоем законцовок крыла большой стреловидности путём вихревого его отсоса.....	129
<b>Пономарёв Д. О., Вознюк И. В.</b> Проблемы технического обслуживания воздушного судна при экстремальных климатических условиях .....	136
<b>Потапова С. Д., Солуянова К. А., Шушарин В. А.</b> Обеспечение авиационной безопасности при воздушной перевозке и обслуживании пассажиров в аэропорту.....	141
<b>Ратников А. В., Шушарин В. А.</b> Опасные и вредные производственные факторы технического обслуживания воздушных судов .....	148
<b>Сапунов Д. М., Шевченко В. С., Шевцов С. А.</b> Совершенствование технической эксплуатации воздушных судов государственной авиации в районах Крайнего Севера .....	157
<b>Ступина А. А., Гольдварг Е. С.</b> Анализ методов борьбы с колебаниями в роторе авиационного двигателя .....	163
<b>Шипулин А. Е., Курочкин С. О., Левшонков Н. В.</b> Введение тканых шарниров и способы их обслуживания и эксплуатации в область беспилотных летательных аппаратов .....	170
<b>Шустиков С. А., Першин Е. А.</b> Эксплуатация гидроаэродромов для местных авиалиний .....	174
<b>СЕКЦИЯ «АВИОНИКА, АВИАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОСИСТЕМЫ И ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ»</b>	
<b>Белков А. Д., Бец В. А., Колычев С. А.</b> Усовершенствование процедуры поиска отказов путем использования Телеграм-бота (на примере БСТО).....	178
<b>Беспятых Д. А., Диль В. Ф.</b> Технология модернизации учебного стенда автопилот «КРЕМЕНЬ-40».....	181

<b>Власова О. В., Трунилина К. И., Колычев С. А.</b> Сравнительный обзор отечественных сигнализаторов обледенения .....	184
<b>Данчинова М. В., Воробьева В. М., Устинов В. В.</b> Методика и алгоритмы построения оптимальных программ поиска отказов в бортовых технических системах воздушных судов .....	194
<b>Каргин А. В., Акулов О. Ю.</b> Алгоритм работы дистанционного измерителя давления воздуха в герметической кабине воздушного судна .....	201
<b>Опперман П. А., Баракин В. Д., Напольский В. П.</b> Бортовая электромеханическая система с приводом постоянного тока повышенного напряжения .....	206
<b>СЕКЦИЯ «СИСТЕМЫ АВИАЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОЛОКАЦИИ, РАДИОНАВИГАЦИИ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ» «СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ»</b>	
<b>Гладкова И. Ю., Есенова А. В., Лашманов С. В.</b> Зональная навигация .....	213
<b>Клебан Г. А., Кадочников Д. М., Кададова А. В.</b> Антенны для системы наблюдения за полетом летательных аппаратов с применением малых космических аппаратов .....	217
<b>Ли Юньхань, Горбунов А. Л.</b> Оценка освещенности при использовании дополненной реальности в аэрокосмических обучающих системах .....	223
<b>Муравьев И. Ю., Морозов О. Г.</b> Параллельная низкоскоростная оптическая выборка для сверхбыстрого анализа спектра .....	225
<b>Чудинова Е. Д., Лашманов С. В.</b> Эффективность гибкого использования воздушного пространства с помощью условных маршрутов .....	233
<b>Эммерих К. Р., Межетов М. А.</b> Перспективы развития системы передачи данных LDACS 1 .....	238
<b>Эпов Н. В., Арефьев. Р. О.</b> Помехозащищённость беспилотных летательных аппаратов. Спуфинг .....	242

**СЕКЦИЯ «ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ  
БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ»**

<b>Антошина В. В., Субботина Д. А., Колычев С. А.</b> Использование облачных технологий при обработке аэрофотоснимков БВС (на примере веб-сервиса ATTRACTOR) .....	249
<b>Гладкова И. Ю., Знаменская К. С.</b> Дроны в орнитологии.....	254
<b>Клюева А. А.</b> Преодоление технологического разрыва: проектная деятельность как основной инструмент для подготовки кадров в сфере беспилотной авиации .....	257
<b>Малинин Д. А., Сапунова С. С., Колычев С. А.</b> Использование противообледенительных средств для защиты квадрокоптера .....	265
<b>Манев Е. В., Николаев А. А., Веремчук Е. А.</b> Перспектива использования пульсирующего двигателя на беспилотниках .....	269
<b>Пашенцева Д. О., Портнов М. А.</b> Электронная схема управления зарядной станции параллельного типа беспилотной авиационной системы .....	276
<b>Рябчинская П. Д., Курочкин С. О., Левшонков Н. В.</b> Альтернативные источники энергии для летательных аппаратов. Водородные элементы .....	282
<b>Tikhomirova R. L., Aristova N. S.</b> The potential risks posed by drones to other aircraft .....	287
<b>Хазюра Д. Р., Каримов А. А.</b> К вопросу о целесообразности применения бесконтактной детекции намерений в свете присоединения к Российской Федерации новых субъектов .....	291
<b>Ханларов А. М., Каримов А. А.</b> О влиянии использования беспилотных летательных аппаратов на тактику боевых действий.....	295

**СЕКЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЭКОНОМИКИ  
НА ТРАНСПОРТЕ»**

**Баращенко Н. А., Вишнякова А. А.**

Проблема эмоциональной устойчивости экипажей гражданской  
авиации ..... 302

**Загриева А. Р.**

Экономические аспекты управления транспортной безопасностью ..... 308

**Morozova A. D., Naplekova M. S., Morozova M. A.**

An integrated approach to air transport risk assessment ..... 313

**Мухин В. А., Шерстеникина А. А.**

Актуальность проекта SSJ-NEW в условиях санкционных ограничений ..... 317

**Пелих Е. А., Куприков М. Ю.**

Формирование критериев оценки качества системы обеспечения  
послепродажного обслуживания, основанной на показателях  
работоспособности авиационной техники ..... 323

**Усачева И. В., Вишнякова А. А.**

Тенденции развития и проблемы чартерных воздушных перевозок ..... 327

**Юнчик Д. А., Вишнякова А. А.**

Анализ возможностей развития и проблемы лоукостеров (на примере  
авиакомпания «Победа») ..... 332

**СЕКЦИЯ**  
**«ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, АВИАЦИОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ**  
**И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ»**

---

*Председатель – Сафарбаков А. М., заведующий кафедрой ЛА и Д, канд. техн. наук, доцент*

**УДК 930.85**

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ**  
**РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА ТРУБОПРОВОДОВ, УСТАНОВЛЕННЫХ НА**  
**САМОЛЕТЕ ТУ-214**

Аглиуллина Э. А.

Левшонков Н. В., канд. техн. наук  
(научный руководитель)

*Казанский национальный исследовательский технический университет*  
*им. А. Н. Туполева*  
*(г. Казань)*

**Аннотация.** В данной исследовательской работе освещается тема использования технологии обратного проектирования трубопроводов, установленных на самолете модели Ту-214. Данная работа имеет большую актуальность в авиационной отрасли, так как может предложить потенциальные преимущества в снижении затрат на серийном производстве самолетов, путем эффективного использования уже существующих схем трубопроводов, оптимизации технического обслуживания и повышения безопасности. Исследование было направлено на изучение различных аспектов технологий реверс-инжиниринга компонентов трубопроводов и составление выводов на основе полученных результатов. В начале работы были рассмотрены различные виды трубопроводов и была найдена закономерность по проектированию сборок трубопроводов. Было выяснено, что все трубопроводы изготавливаются и проверяются по эталонам. Эталоны для упрощения работы были разделены на три условные группы: 1D, 2D и 3D. В группу 1D вошли прямой эталон с постоянным или переменным круглым сечением. В группу 2D были объединены эталон с различными изгибами или ветвями отводов только в одной плоскости с постоянным или переменным круглым или не круглым сечением. В группу 3D трубы с изгибами или ветвями отводов более чем в одной плоскости с постоянным или переменным круглым или не круглым сечением. В ходе исследования путем анализа были подобраны оптимальные методы снятия размеров и сканирования эталонов трубопроводов для трех условных групп, для последующей эффективной обработки в специальной программе по объединению облака точек в поверхности и последующего получения 3D модели. По результатам исследования была составлена подробная таблица, наглядно отражающая характеристики использованных эталонов и предложенные методы снятия размеров. Это помогает четко представить полученные данные. Кроме того, исследование позволило оценить целесообразность применения методов обратного инжиниринга для того или иного вида эталона и дать ответ на вопрос, эффективен ли реверс инжиниринг для данной задачи.

**Ключевые слова:** реверс-инжиниринг, обратное проектирование, трубопроводы, оптимизация, авиация, самолетостроение.

На Казанском авиационном заводе возобновляют производство среднемагистральных узкофюзеляжных самолетов Ту-214. Разработка этой модели пассажирского самолета производилась в Советском Союзе и не все чертежи трубопроводов сохранились до наших времен. Однако, геометрия деталей самолета, в том числе частей трубопроводов, сохранилась в эталонах. Эталоны – это детали, которые делаются строго в полном соответствии с плазовым чертежом и с рабочими чертежами, и именно с эталонами сравниваются готовые изделия, чтобы проверить форму и размеры детали, которая будут устанавливаться на самолет. В связи с этим, использование методов обратного проектирования, а именно сканирование эталонов и перевод их в 3D модели и в последующем в чертежи, помогло бы решить сразу несколько проблем, связанных с проектированием трубопроводов, устанавливаемых на самолете с нуля.

Реверс-инжиниринг – это процесс разработки любого изделия в обратном порядке [1]. Другими словами, это совокупность технологий, аппаратных и программных средств и методик, предоставляющих возможность получения 3D-модели в результате 3D-сканирования реального объекта с характеристиками. Также стоит отметить, реверс-инжиниринг сводится в большей степени к процессу получения 3D-модели физического изделия, т.е. происходит перенос физического объекта в цифровой [2]. Для этого используются координатно-измерительные машины (КИМ), лазерные сканеры, компьютерная томография и устройства структурированного белого или синего света.

После сканирования трубопроводов мы получаем так называемое облако точек (Рис. 1), которое путем объединения в поверхности и обработки превращается в 3D модель детали (Рис. 2).

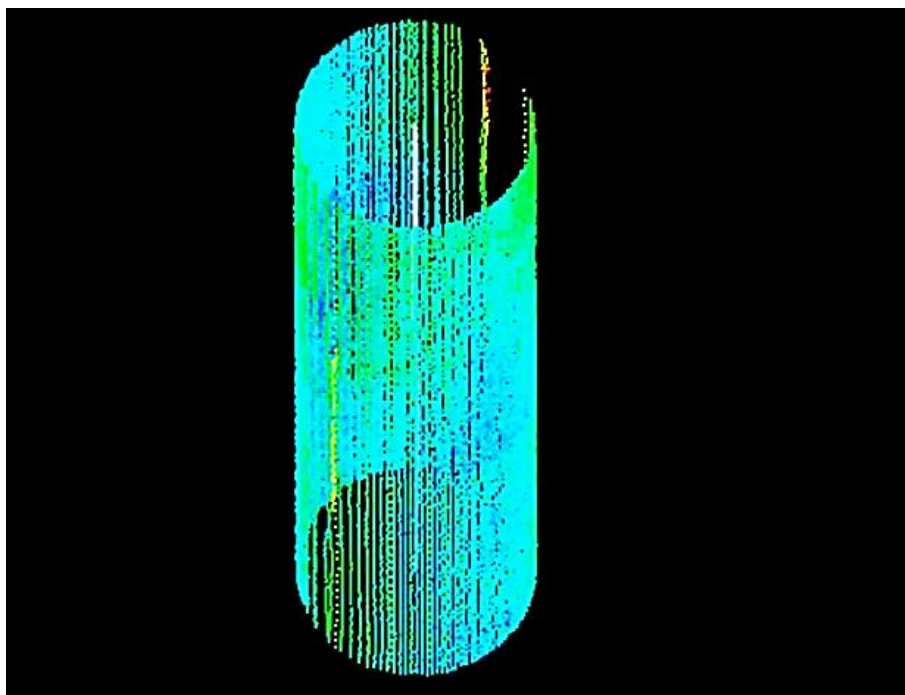


Рисунок 1 – Облако точек

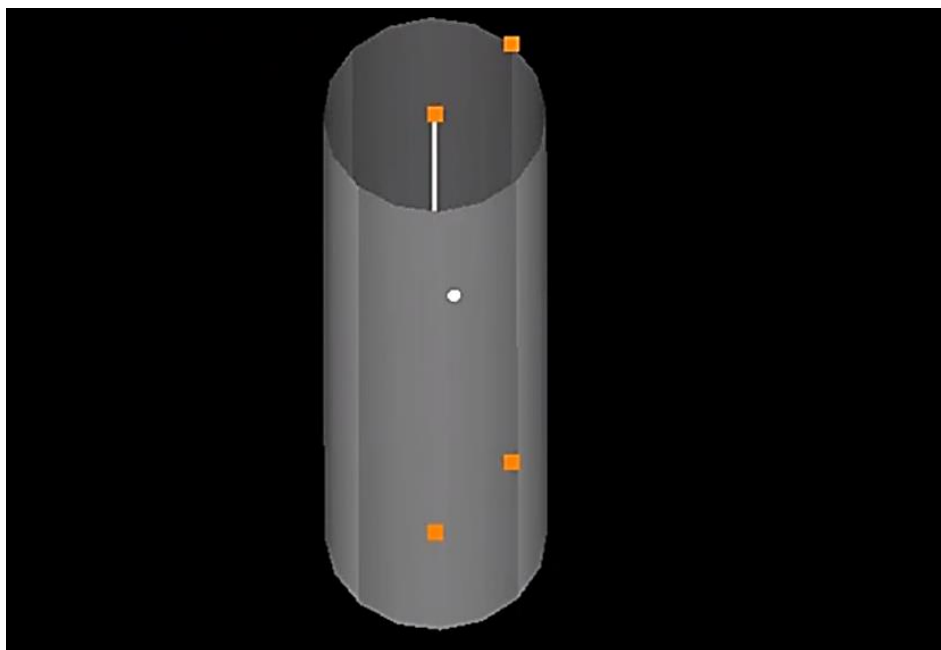


Рисунок 2 – Поверхность, составленная из облака точек

Топливные трубопроводы, предназначенные для передачи авиационного топлива от баков до двигателей самолета.

1. Гидравлические трубопроводы, используемые для передачи гидравлической жидкости, которая управляет различными системами самолета.

2. Пневматические трубопроводы, служащие для передачи сжатого воздуха или газов.

3. Трубопроводы смазочных систем, используемые для передачи масла или смазочной жидкости по различным системам.

Все разновидности труб, используемых на самолете, объединяет то, что они все собираются и проверяются по эталонам, которые в свою очередь можно также разделить на группы. Условно эталоны были разделены на три группы. В ходе изучения темы была составлена таблица (табл. 1), которая наглядно показывает, чем отличаются друг от друга различные виды эталонов и подобраны оптимальные подходы к измерению. Также на основе полученных данных была выяснена целесообразность применения обратного проектирования для различных видов эталонов трубопроводов.

Из таблицы (табл. 1) видно, что обратное проектирование целесообразно практически для любого вида эталонов трубопроводов, кроме трубопроводов с постоянным сечением, для которых выгоднее прямое проектирование.

Если рассмотреть с точки зрения снижения затрат, технология обратного проектирования позволяет эффективно использовать уже существующие схемы трубопроводов, не требуя полной замены системы. Это существенно экономит средства, уменьшая необходимость в новых эталонах и работах по модернизации.

Таблица 1 – Классификация эталонов труб

Вид	1D	2D	3D
Характеристика	Прямой эталон с постоянным / переменным круглым сечением	Эталон с изгибами или ветвями отводов в одной плоскости с постоянным / переменным круглым / не круглым сечением	Патрубок с изгибами или ветвями отводов более чем в одной плоскости с постоянным / переменным круглым / не круглым сечением
Подходы к измерению эталонов	Контактный метод измерения	Контактный / лазерный метод измерения	Лазерный метод измерения
Целесообразность использования методов реверс-инжиниринга	Целесообразно лишь в случае переменного сечения, так как трубопровод с постоянным сечением представляет собой примитивную геометрию	Целесообразно в любом случае, так без использования данного метода было сложно точно определить радиусгиба	Целесообразно в любом случае

В ходе своих исследований я пришла к выводу, что обратный инжиниринг трубопроводов на основе эталонных стандартов может быть важным методом, используемым в процессе производства и проектирования, когда технические характеристики продукта отсутствуют или продукт непригоден для использования. Этот метод дает возможность быстро разрабатывать трубопроводы сложной конфигурации путем их перепроектирования и оптимизации в короткие сроки и тем самым снижать себестоимость производства. Технология обратного инжиниринга – инструмент, который поможет авиационной промышленности наладить крупносерийное производство гражданских самолетов Ту-214 в предельно сжатые сроки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукманов О. Обратный инжиниринг // САПР и графика. – 2018. – № 1 (255). – С. 7-8.
2. Рубанова К. А. Стратегии применения обратного инжиниринга в условиях цифровой трансформации экономики // Human Progress. 2022. Том 9, Вып. 1. С. 13. URL: [http://progress human.com/images/2023/Tom9\\_1/Rubanova.pdf](http://progress human.com/images/2023/Tom9_1/Rubanova.pdf). DOI 10.34709/IM.191.13. EDN A.
3. Attaran, M. The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing // Business Horizons. 2017. Vol. 60. No 5. P.: 677-688.
4. Mussi, E.; Servi, M.; Facchini, F.; Furferi, R.; Volpe, Y. Assessment and treatment of pectus deformities: a review of reverse engineering and 3D printing techniques // Rapid Prototyping Journal. 2022. Vol. 29. No. 1. P.: 19-32.
5. Марьин Б. Н. Изготовление трубопроводов гидрогазовых систем летательных аппаратов / Б. Н. Марьин, В. М. Сапожников, Ю. Л. Иванов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1998. – 400 с.



6. ОСТ 1.42378-88...ОСТ 1.42386-88. Трубы и патрубki авиационные бортовые. Классификация по группам точности. – М.: Изд-во НИАТ, 1988. – С. 39-42.

7. *Марьин Б. Н.* Интенсификация формoобразования деталей из трубчатых заготовок / Б. Н. Марьин, Ю. Л. Иванов, В. М. Сапожников; под ред. Б. Н. Марьина. – М.: Машиностроение, 1996. – 176 с.

**УДК 656.7.086.3**

## **ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

Андрютин Н. Н., Словинская Е. И.

*Московский государственный технический университет гражданской авиации  
(г. Москва)*

**Аннотация.** В данной научной статье рассматриваются модификации методологии оценки эффективности процессов технической эксплуатации (ПТЭ), которые включают в себя учет влияния человеческого фактора.

Объектом исследования в данной работе является процесс усовершенствования технической эксплуатации, осуществляемый путем разработки более эффективной программы технического обслуживания и регулярного ремонта. Предметом исследования являются способы повышения эффективности технического обслуживания и оценка экономической целесообразности данных улучшений.

Методика оценки человеческого фактора призвана содействовать оптимизации затрат в трудовых ресурсах, времени и материальных ресурсах, затрачиваемых на техническое обслуживание воздушных судов гражданской авиации. Основная цель заключается в обеспечении повышения уровня безопасности полетов при одновременном сокращении издержек.

Эффективность данной методики не ограничивается сферой деятельности авиакомпаний и может быть применена в организациях, занимающихся определением оптимальной периодичности проведения технического обслуживания и необходимого времени, учитывая влияние человека, в контексте обеспечения безопасности и оптимизации ресурсов.

**Ключевые слова:** человеческий фактор, результативность, математические модели, эффективность.

### **Введение**

Присутствие риска в современном обществе не вызывает сомнений. Риск проникает во все сферы общественной деятельности. В повседневной жизни мы сталкиваемся с различными видами рисков, включая политические, экономические, экологические, психологические, юридические, медицинские и многие другие. Некоторые из самых опасных рисков связаны с безопасностью индивидуальных лиц, семей, корпораций и общества в целом. Не существует однозначного понимания сути риска, поскольку это явление имеет несколько несовпадающих, а порой и противоположных основ. Кроме того, риск всегда связан с субъектом и принятыми им решениями. Риск представляет собой

следствие решений, принимаемых субъектом, который не только делает выбор, но и оценивает вероятность возможных событий и масштаб их последствий. В настоящее время риск активно исследуется как составляющая экономической деятельности.

**Проблема исследования:** человеческий фактор и его непредсказуемое влияние на любую деятельность представляют собой актуальную и насущную проблему в различных отраслях, особенно в гражданской авиации [1]. Действия человека часто становились причиной инцидентов в авиации. Для снижения числа инцидентов необходимо более глубоко понимать роль человеческого фактора в авиации и применять накопленные знания в профилактических целях. Профилактические меры предполагают, что знания о человеческом факторе должны применяться и интегрироваться в процесс проектирования и сертификации систем, а также в процессе сертификации персонала, еще до того, как системы начинают эксплуатироваться, а персонал приступает к выполнению своих профессиональных обязанностей.

**Актуальность исследования:** Повышение эффективности технической эксплуатации гражданской авиации является ключевым условием прибыльной деятельности, с учетом жесткой фокусировки на обеспечении безопасности полетов [3]. Эффективность технической эксплуатации обеспечивается через три основных направления:

Изменение конструкции воздушных судов.

Модификация условий эксплуатации.

Обновление эксплуатационной документации.

**Цели и задачи:** будет разработана новая методика формирования программы ТОиР с учётом человеческого фактора, что раньше не учитывалось при формировании периодичности и продолжительности проведения работ по ТО.

В рамках данной задачи мы введем специальный коэффициент учёта внешних факторов, что позволит учитывать в анализе эффективности технической эксплуатации воздушного судна также и человеческий фактор.

**Объект и предмет исследования:** объектом исследования является процесс улучшения технической эксплуатации путём совершенствования программы ТОиР, а предметом – способ повышения эффективности технического обслуживания, а также экономической эффективности.

**Практическая значимость исследования:** методика оценки влияния внешних факторов должна обеспечивать сокращение затрат труда, времени и средств на техническое обслуживание ВС ГА с последующим сохранением безопасности полётов.

Данная методика может быть внедрена не только в авиакомпанию, но также и в организацию, определяющую оптимальную периодичность проведения ТО и необходимое время проведения ТО с учётом внешних факторов.

**Матрица последствий и вероятностей.** Данный метод предполагает расположение ранжированных показателей последствий и вероятностей в виде

таблицы (матрицы) [2]. При заранее сформированной матрице последствий и вероятностей предполагается отнесение в одну из ячеек матрицы. В зависимости от места оцененного риска в матрице делается вывод о его допустимости либо недопустимости. Формат, строки и колонки матрицы зависят от области применения, при этом очень важно, чтобы разработанная матрица соответствовала специфике деятельности организации.

Размер потенциального ущерба	Критический 5	5	10	15	20	25
	Высокий 4	4	8	12	16	20
	Средний 3	3	6	9	12	15
	Низкий 2	2	4	6	8	10
	Незначительный 1	1	2	3	4	5
		очень низкая вероятность 1	низкая вероятность 2	средняя вероятность 3	высокая вероятность 4	очень высокая вероятность 5
	<b>Вероятность</b>					

Рисунок 1 – Матрица рисков

Предложенный метод определения  $\beta$  очень схож с использованием матрицы рисков, только он показывает зависимость внешнего фактора к качеству работы и её продолжительности.

Таблица 1 – Метод определения  $\beta$

Квалификация работника (1)									
Бортмеханик		Кандидат		3 класс бортинженера		2 класс бортинженера		1 класс бортинженера	
твып. раб	Р кач.раб.	твып. раб	Р кач.раб.	твып. раб	Р кач.раб.	твып. раб	Р кач.раб.	твып. раб	Р кач.раб.
$t+4*\Delta t1$	0,2	$t+3*\Delta t1$	0,2	$t+2*\Delta t1$	0,4	$t+\Delta t1$	0,3	t	0,6
Отход от правил выполнения работы (2)									
Работа выполнена по всем правилам			Работа выполнена с незначительными нарушениями правил			Работа выполнена с существенными нарушениями правил			
твып. раб	Р кач.раб.	твып. раб	Р кач.раб.	твып. раб	Р кач.раб.	твып. раб	Р кач.раб.	твып. раб	Р кач.раб.
$t+2*\Delta t2$	0,6	$t+\Delta t2$	0,4	t	0,1				

$P \beta$  кач. раб. считается по формуле:

$$P=1-[(1-P_1) *(1-P_2)]$$

т. к. влияние данных факторов будет нести не последовательный, а параллельный.

Таблица 2 – Коэффициент учёта внешних факторов

<b><math>\beta</math> - коэффициент учёта внешних факторов</b>	
$t \beta$ вып. раб	$P \beta$ кач.раб.
$t+(i*\Delta t1+i*\Delta t2)$	$P=1-[(1-P_1) *(1-P_2)]$

Получив  $P \beta$  кач.раб. и проанализировав, можно будет сделать вывод о потенциальном техническом состоянии ЛА.

Таблица 3 – Потенциальное состояние ФС ЛА

<b>Потенциальное состояние ФС ЛА</b>	
Неисправное При $P \beta$ кач.раб<0.95	Исправное При $P \beta$ кач.раб>0.95

При вероятности выполнения качества ТО  $P \beta$  кач.раб.< 0.95, потенциальное состояние ЛА будет неисправно, что в будущем увеличит количество неисправных по выше указанным причинам ЛА, как следствие изменится поток отказов, а также интенсивность отказов и не только, что впоследствии негативно повлияет на эффективность процессов технической эксплуатации.

Изменение данных параметров приведёт к изменению:

- Оптимальной периодичности ТО;
- Уровня неэффективных работ по ТО;
- Эффективности режимов ТО ЛА и АД;
- Вероятности безотказной работы изделий АТ.

**Основные выводы, заключения:** в этой работе в контексте целостного представления о человеческом факторе и связанным с ним рисками были рассмотрены главные методологические ее проблемы и аспекты.

В статье описан новый подход к оценке эффективности процессов, также выделены направления, в которых данный метод может быть использован.

Подведем итог, к проблеме влияния на БП человеческого фактора данная проблема всегда преследовала любую отрасль в разные времена [4], что подтверждает актуальность этого понятия и его особое значение для современной науки с теоретической и практической точек зрения. Тем не менее, новая метода учёта человеческого фактора наряду с ранее придуманными играет свою особую роль.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Doc 9758 AN/966. Основные принципы учета человеческого фактора в системах организации воздушного движения (АТМ), издание первое, 2000.
2. Руководство по управлению рисками.
3. *Далецкий С. В.* Формирование эксплуатационно-технических характеристик воздушных судов гражданской авиации. – М.: Воздушный транспорт, 2005.
4. *Рыбкин С. А.* Ответственность и риски при организации перевозок: учебно-методическое пособие. – М.: ИД Академии Жуковского, 2020. – 32 с.

УДК 662.6

### АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВА ДЛЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Белоусова Е. В.

Павловец А. Л.  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены вопросы влияния горюче-смазочных материалов, применяемых в авиации, на окружающую среду. Проанализированы альтернативные керосину более экологически чистые виды топлива для авиационной техники. Выделены их преимущества и недостатки, рассмотрены перспективы.

**Ключевые слова:** горюче-смазочные материалы, окружающая среда, биотопливо, эмиссии, водородное топливо, авиационное сконденсированное топливо.

В современном мире, где проблемы экологии и устойчивого развития становятся все более актуальными, внимание к поиску альтернативных видов топлива для авиационной техники растет с каждым годом. Это вызвано не только стремлением минимизировать негативное влияние выхлопных газов на окружающую среду, но и потребностью снизить зависимость от исчерпаемых ресурсов.

Одним из основных эффектов, вызванных горюче-смазочными материалами (ГСМ) авиации, является выброс вредных веществ в атмосферу. Сжигание основной части авиационного топлива происходит не в приземном слое вблизи аэропортов, а в более высоких слоях атмосферы. Специалисты полагают, что ежегодно возрастающая эмиссия углекислого газа, воды и метана двигателями самолетов изменяет химический и радиационный баланс атмосферы, что наряду с эмиссией сажевых сульфатных аэрозолей может влиять на климат. Статистику выбросов можно увидеть в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Эмиссии

Показатель	Единица измерения	2005	2019	2020	2021
Суммарные выбросы CO <sub>2</sub> за полет	млн т	110	147	64	65
«Чистые» выбросы CO <sub>2</sub> за полет с уменьшением квот EU ETS	млн т	110	114	64	65
Суммарные выбросы NOX за полет	тыс. т	479	697	306	305
Среднее потребление топлива	литров топлива на 100 пассажиро-километров	4,8	3,5	4,8	Н/Д

Особое значение имеют такие компоненты, как двуокись углерода и оксиды азота. Оксиды азота принимают участие в химии озона (его увеличение может приводить к нагреванию верхней тропосферы) и увеличению количества гидроксильных радикалов (ОН), основного атмосферного окислителя. Увеличение ОН приводит к сокращению времени жизни метана CH<sub>4</sub>, результатом чего может стать охлаждение, параллельно – на масштабах десятилетий – сокращение тропосферного озона. Оксиды серы и сажа приводят к образованию аэрозолей. Аэрозоли и их предшественники (сажа и сульфаты) увеличивают облачность в форме линейных конденсационных следов и перистых облаков. В зависимости от состояния окружающей атмосферы эти следы могут существовать иногда несколько минут, а иногда – часы, растекаясь в ширину на несколько километров и напоминая перистые или высококучевые облака [2].

Весьма значительное воздействие на радиационный баланс следует ожидать в результате выбросов частиц сажи твердотельных продуктов неполного сгорания топлива, которые играют роль ядер конденсации. Однако заметного влияния эмиссии этих частиц на газовый состав атмосферы до сих пор не обнаружено. В настоящее время считается, что влияние эмиссии сажевых частиц на климат обусловлено главным образом формированием долгоживущих конденсационных следов (прямой эффект) и инициированием образования перистых облаков (вторичный эффект). Особое внимание среди продуктов сжигания авиационного топлива занимают парниковые газы, чьи эмиссии могут вносить вклад в процесс глобального потепления. Для их уменьшения у авиакомпаний имеется по существу всего две возможности. Первая – увеличение роста топливной эффективности (то есть удельного расхода топлива). Вторая – использование альтернативных топлив: синтетического горючего из каменного угля, природного газа или биомассы.

Одним из наиболее многообещающих направлений является использование биотоплива в авиации. Биотопливо получают из растительных и животных материалов, таких как растительное масло, этиловый спирт, а также

биогаз и биоалкоголь. Использование таких источников позволяет снизить выбросы парниковых газов и сократить зависимость от ископаемого топлива.

При производстве биотоплива необходимо учитывать важный фактор: биологическое топливо должно обладать такими же химическими свойствами, как и обычный авиакеросин. Только в этом случае не потребуются модернизации двигателей, топливных систем и самолетов, а значит, можно будет обойтись без огромных дополнительных затрат [3].

Различают три поколения биотоплив (рис.1). Биотопливо первого поколения изготавливают из сахара, крахмала, растительного масла и животного жира, используя традиционные технологии. Основными источниками сырья являются семена или зерна. Например, семена подсолнуха прессуют для получения растительного масла, которое затем может быть использовано в биодизеле. Из пшеницы получают крахмал, после его сбраживания – биоэтанол. Однако такие источники сырья занимают место в пищевой цепочке людей и животных. Растительные масла – это жидкие жиры растительного происхождения. Другое название жиров – триглицериды. Триглицерид представляет собой остов глицерина, к которому прикреплены радикалы жирных кислот.

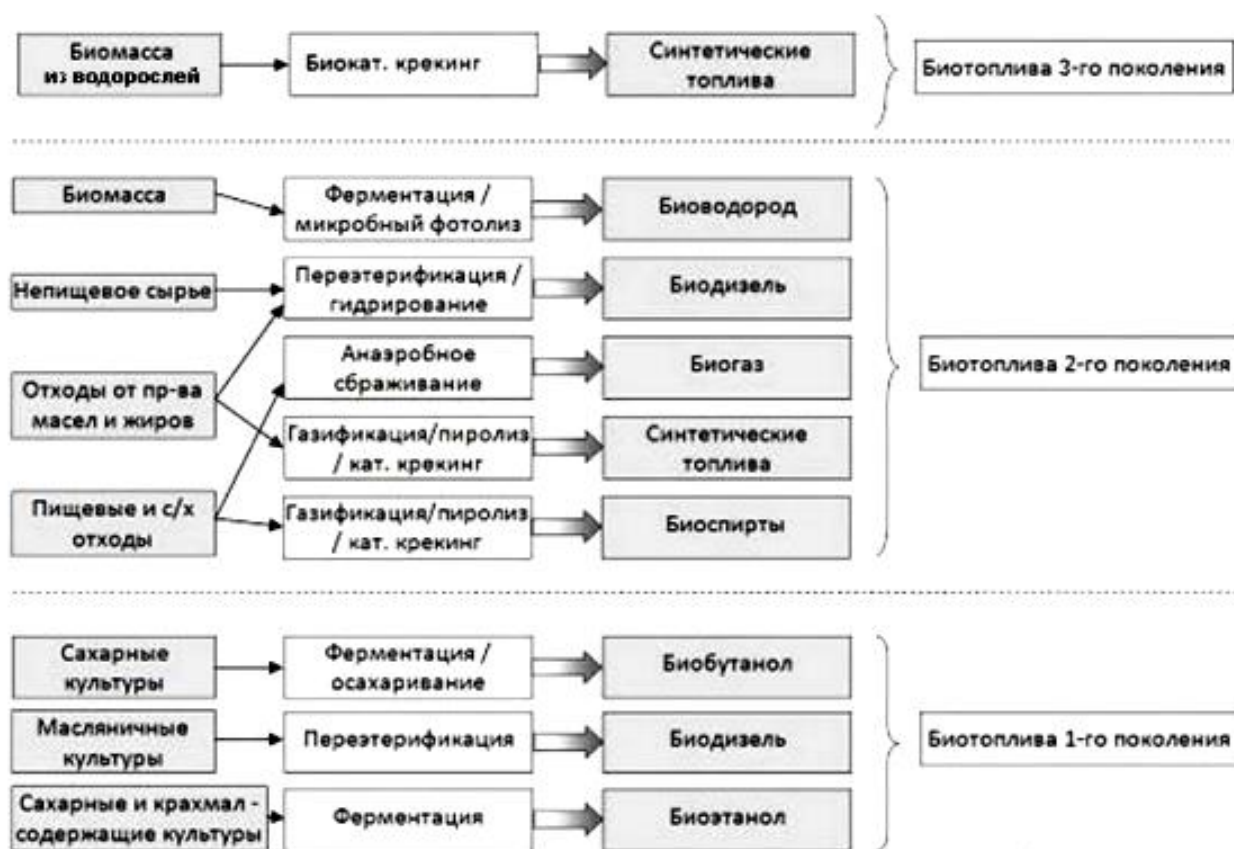


Рисунок 1 – Три поколения биотоплив. *Источник:*

<http://storage.mstuca.ru/jspui/bitstream/123456789/8125/1/Binder1.pdf>

Биотоплива второго поколения способны увеличить количество выпускаемого экологически устойчивого биотоплива, используя биомассу, состоящую из остаточных непищевых частей растений, таких как стебли, листья, шелуха, оставляемых после извлечения пищевой части. Также годятся непищевые растения (просо, ятрофа) и производственный мусор: древесная стружка, кожура и мякоть от прессовки фруктов и т.п.

Биотопливо третьего поколения изготавливается из водорослей. Водоросли – дешевое и высокопродуктивное сырье для получения биотоплива. Переработка биомассы водорослей путем биокаталитического крекинга позволяет получать синтетические нефтепродукты очень высокого качества [4].

Однако, несмотря на потенциал использования биотоплива, существуют и некоторые ограничения, связанные с его производством и эксплуатацией. Одной из главных проблем является конкуренция между производством биотоплива и производством пищевых продуктов. Из-за этого цены на некоторые продукты питания могут увеличиться, а также увеличится разрушение лесов и других природных экосистем при увеличении площадей для выращивания сырья для биотоплива.

Несмотря на то, что в настоящее время в значительной степени речь идет о 3-м поколении биотоплива, производство которого в меньшей степени зависит от переработки продовольственных культур, основной проблемой является недостаточная площадь земельных и водных ресурсов для выращивания технических сельскохозяйственных культур [5].

При оценке экономической эффективности внедрения авиационного биотоплива международной организацией гражданской авиации стоимость авиационного биотоплива в четыре и более раза превышает стоимость авиационного керосина А-1, и при этом его использование создает дополнительные риски для безопасности полетов. В то же время, эксплуатация нового поколения реактивных самолетов обеспечивает повышение топливной эффективности до 25 %, а также способствует существенному повышению уровня безопасности полетов [5].

Еще одной перспективной альтернативой является водородное топливо. Водород является наиболее обильным элементом во вселенной и его сжигание не выделяет никаких углеродных веществ. Большой плюс водородного топлива заключается в его высокой мощности и возможности улучшения энергетической эффективности авиационной техники.

При его использовании самолет становится экономичнее (расход топлива уменьшается), выбросы  $\text{CO}_2$  в атмосферу снижаются. Авиационные эмиссии диоксида углерода составляют, по различным оценкам, от 2 до 2,5 % от общего количества антропогенных выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу. При сжигании 1 кг авиационного керосина выделяется 3,16 кг  $\text{CO}_2$ . Предполагается, что к 2040 году при оптимистичном прогнозе, связанном с улучшением технологий топливной эффективности, количество авиационных эмиссий  $\text{CO}_2$  может достигнуть почти полутора тысяч мегатонн в год [6].

Водородное топливо обладает в три раза большим энергетическим потенциалом, чем керосин, однако даже в жидком виде требует четверо



большого объема. Возможно также его использование в топливных элементах на производства электроэнергии на борту.

Однако проблемы с производством и хранением водородного топлива значительно затрудняют его широкое использование в авиации. Водород является горючим и взрывоопасным веществом, поэтому требуются специальные меры предосторожности для его использования в авиационной технике.

Кроме того, были предложены и другие альтернативные виды топлива для авиационной техники, такие как электрическая энергия и гелиохимическое топливо. Однако их применение и эффективность пока остаются предметом дальнейших исследований и разработок.

Для России является актуальным использование авиационного сконденсированного топлива (АСКТ), получаемого в том числе из попутного нефтяного газа, в районах, где большие запасы его до сих пор сжигаются в факелах на нефтяных месторождениях. Это позволит решить проблему обеспечения авиатопливом отдаленных северных регионов страны. Согласно Энергетической стратегии 2030, максимально полная утилизация и сбережение ресурсов попутного нефтяного газа является одной из стратегических задач нефтяного комплекса. Стратегия предусматривает, что уже к окончанию первого этапа ее реализации будет эффективно использоваться 95 % извлекаемого попутного нефтяного газа.

Авиационное сконденсированное топливо, также известное как авигаз или авгаз, представляет собой особый вид топлива, разработанного специально для использования в авиационных двигателях взамен или в сочетании с авиакеросином. Это высокооктановое, разносортное топливо, обладающее уникальными химическими свойствами, которые позволяют ему обеспечивать более эффективную работу авиационных двигателей. Авиационное сконденсированное топливо является смесью различных углеводородов, получаемых из нефтепродуктов и нефтеперерабатывающих процессов. Его особенностью является высокий октановый рейтинг, который обеспечивает более стабильное горение, улучшает работу двигателя и повышает его охлаждение.

Основными преимуществами авиационного сконденсированного топлива является его высокая энергетическая плотность, что обеспечивает значительное увеличение эффективности работы двигателей в сравнении с другими видами топлива. Благодаря своим химическим свойствам, оно способно обеспечить длительные перелеты без необходимости постоянного дозаправления. Кроме того, оно обладает отличными радиотехническими характеристиками, что позволяет снизить влияние радиоэлектронного шума на бортовое оборудование самолета.

Важной особенностью авиационного сконденсированного топлива является его способность устойчиво храниться и транспортироваться в различных климатических условиях. Это делает его идеальным выбором для международных авиаперевозок, где автоматическое топливо является неотъемлемой частью безопасности и надежности полета.

Кроме того, авиационное сконденсированное топливо имеет низкое содержание вредных веществ, таких как сера и ароматические соединения, что является важным фактором в снижении негативного воздействия на окружающую среду. Это топливо сочетает в себе энергетическую эффективность и экологическую безопасность, что делает его предпочтительным выбором для авиакомпаний.

Таким образом, использование альтернативных видов топлива для авиационной техники является важным шагом в направлении экологически чистого и устойчивого развития авиации. Биотопливо, водородное топливо, авиационное сконденсированное топливо и другие альтернативы предоставляют перспективные возможности для сокращения выбросов углекислого газа и снижения зависимости от исчерпаемых природных ресурсов. Однако необходимо продолжать работы по повышению эффективности и экономической целесообразности этих видов топлива, чтобы добиться широкого масштаба их использования в авиационной технике.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. European Aviation Environmental Report 2022: основные положения и рекомендации// [Электронный ресурс]. 2022. 24 с. URL: [https://www.easa.europa.eu/eco/sites/default/files/2022-09/EnvironmentalReport\\_EASA\\_summary\\_RU\\_04.pdf](https://www.easa.europa.eu/eco/sites/default/files/2022-09/EnvironmentalReport_EASA_summary_RU_04.pdf) (дата обращения: 11.11.2023)

2. Яновский Л. С. Авиационная экология. Воздействие авиационных горюче-смазочных материалов на окружающую среду: учебное пособие / Л. С. Яновский, А. А. Харин, И. В. Шевченко, В. П. Дмитриенко. Москва: ИНФА-М, 2017. 169 с.

3. Головина Е. А. Альтернативное топливо для авиационной техники / Е. А. Головина, научный руководитель канд. техн. наук Ю. Ф. Кайзер. // [Электронный ресурс]. Красноярск: ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Институт нефти и газа, 2019. 2 с. URL: [https://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/21148/al\\_ternativnoe\\_toplivo\\_dlya\\_aviacionnoy\\_tehniki.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/21148/al_ternativnoe_toplivo_dlya_aviacionnoy_tehniki.pdf?sequence=1&isAllowed=y). (дата обращения: 11.11.2023)

4. Немчиков М. Л. Альтернативные ГСМ: тексты лекций / М. Л. Немчиков. // [Электронный ресурс]. Москва: ФГАОУ ВПО Московский государственный технический университет ГА, 2015. 40 с. URL: <http://storage.mstuca.ru/jspui/bitstream/123456789/8125/1/Binder1.pdf>. (дата обращения: 11.11.2023)

5. Эффективность использования авиационного биотоплива с точки зрения сокращения выбросов CO<sub>2</sub> / Международная организация гражданской авиации // Конференция по авиации и альтернативным видам топлива // Пункт повестки дня 4: Формулирование видения ИКАО в отношении альтернативных видов авиационного топлива и будущие цели (Представлено Российской Федерацией), Мехико, Мексика, 11–13 октября 2017 года // [Электронный ресурс]. 2017. 7 с. URL: <https://www.icao.int/Meetings/CAAF2/Documents/CAAF.2.WP.020.4.ru.pdf> дата обращения: 11.11.2023)

6. Звягинцева А. В. Воздействие авиационных горюче-смазочных материалов на окружающую среду / А. В. Звягинцева, Б. Г. Горелов, Ю. К. Рубцова // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2019. – № 1(10). – С. 130-133. – EDN EOSTWX.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РЕМОНТА НОСОВЫХ ОБТЕКАТЕЛЕЙ АНТЕНН ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Биликтуев В. Р.

Нацубидзе С. А., канд. техн. наук  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** В статье представлены технологии определения технического состояния и ремонта поврежденных стеклопластиковых носовых обтекателей ВС, применяемые в авиационно-технических базах авиапредприятий.

**Ключевые слова:** носовой обтекатель, акустические приборы, ремонт, сотовые и монолитные конструкции.

### **Введение**

Носовой обтекатель представляет собой аэродинамический обтекатель в носовой части фюзеляжа ВС. Большая часть материала обтекателя – это стеклопластик, выполненный в виде трехслойных или монолитных панелей.

Данный агрегат ВС имеет усиленную конструкцию для того, чтобы минимизировать возможные последствия воздействий внешней среды и эксплуатационных факторов на антенны пилотажно-навигационного комплекса и другое радиолокационное оборудование. Кроме того, обтекатели должны обладать необходимыми радиотехническими характеристиками (от которых зависит дальность действия и точность работы конкретного пилотажно-навигационного комплекса).

Носовой обтекатель ВС чаще всего подвержен повреждениям по причинам следующих эксплуатационных факторов:

- столкновение с птицами (рис. 1);
- метеоусловия (град, молния) (рис. 2);
- человеческий фактор (столкновение специальной техники с носовым обтекателем ВС) (рис. 3).



Рисунок 1 – Повреждения носового обтекателя после столкновения с птицами



Рисунок 2 – Повреждение носового обтекателя молнией и градом

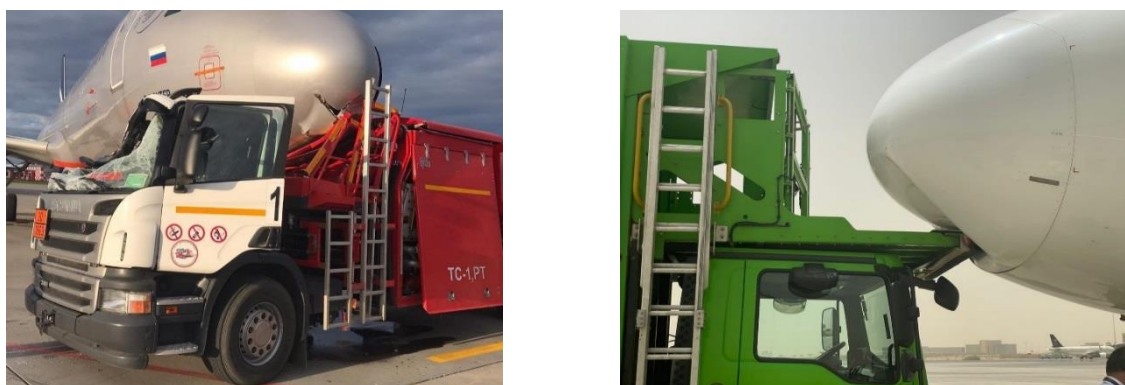


Рисунок 3 – Столкновение специальной техники с носовым обтекателем ВС

Также бывают внутренние дефекты вследствие брака при производстве и ремонте АТ, представленные таблице 1.

Таблица 1 – Дефекты носовых обтекателей

Дефект	Схематичное изображение
Расслоения в монолитных деталях из ПКМ	
Непроклеи в слоистых, сотовых и других конструкциях с наполнителем	
Расслоения в обшивках и деталях клееных конструкций из ПКМ	
Инеродные включения (полимерные пленки, бумага и пр.)	
Подмятие сотового наполнителя (потеря устойчивости)	

Для неразрушающего контроля монолитных и многослойных клееных конструкций из стеклопластика в условиях производства и эксплуатации применяются различные методы, основанные на взаимодействии физических полей с контролируемым объектом.

Для определения технического состояния носовых обтекателей ВС наиболее частое применение получили акустические методы неразрушающего контроля:

– *импедансный метод* реализуется при одностороннем доступе к контролируемому агрегату и применяется в двух вариантах: с использованием совмещенного и с использованием раздельно-совмещенного преобразователя. С помощью этого метода определяют дефекты соединений в сотовых конструкциях с обшивкой носового обтекателя, непроклеи и расслоения [3, 4];

– *велосиметрический метод* основан на влиянии структурных неоднородностей на скорость распространения упругих волн в контролируемой конструкции, а также на изменении пути волны между излучателем и приемником, вызванным наличием таких неоднородностей. Метод реализуется как при одностороннем, так и при двухстороннем вариантах контроля, при этом в изделии могут возбуждаться как непрерывные, так и импульсные колебания частотой 20...60 кГц, которые распространяются в виде антисимметричных волн нулевого порядка или продольных волн. Применяется для нахождения расслоений в многослойных конструкциях толщиной до 50 мм [2];

– *метод свободных колебаний* основан на ударном возбуждении импульсов свободно затухающих упругих колебаний в контролируемой конструкции (или ее части) и анализе параметров принятого сигнала. Признаком нарушения сплошности является изменение спектра упругих колебаний конструкции в зоне контроля и изменение амплитуды, частоты или фазы спектральных составляющих сигнала. Предназначен для поиска расслоений и непроклеев между слоями стеклопластика в изделиях толщиной 15...60 мм [1, 2];

– *акустико-топографический метод* основан на возбуждении в контролируемой конструкции упругих колебаний и регистрации распределения их амплитуд на поверхности конструкции. Метод применяется для выявления нарушений сплошности соединения слоев в многослойных панелях, а в некоторых случаях и клееных конструкциях [1];

– *теневой метод* реализуется, как правило, двумя способами: амплитудным и временным. Метод используют для обнаружения зон нарушения соединений в многослойных конструкциях и выявления расслоений, пустот, зон повышенной пористости [1, 2];

– *эхо-метод (метод отражения)* В этом основном варианте эхо-метод применяется для выявления расслоений, трещин, воздушных пузырей в конструкциях из композитных материалов толщиной от 4...10 мм до 100...200 мм [1];

– *реверберационный метод* контроля (метод многократных отражений), называемый также эхо-реверберационным методом, являющийся разновидностью ультразвукового импульсного эхо-метода, для контроля качества клеевых соединений в многослойных конструкциях [2].

Таблица 2 – Методы и средства контроля монолитных и многослойных конструкций

Методы неразрушающего контроля	Способы контроля	Применяемые приборы	Выявляемые дефекты
Импедансный	Амплитудный, фазовый, амплитудно-фазовый	АД-50К/ АД-60К «Акустикфлавдетектор-2», «Акустикфлавдетектор-3»	Расслоение в листах из композитного материала толщиной 1...4 мм, дефект соединений в сотовых конструкциях с обшивкой носового обтекателя, непроклеи и расслоения
	Амплитудный	«Зондикатор S-2B», «Гармоникбондтестер Марк-PV»	Расслоение в и многослойных конструкциях толщиной 4...15 мм, зоны повышенного или пониженного содержания наполнителя и повышенной пористости материала
Велосиметрический	Фазовый	УД-A1525 Solo, УД-Mantis	Расслоение в и многослойных конструкциях толщиной до 50 мм
	Временной, фазовый	«Томографик» УД4-Т, Ультразвцковой дефектоскоп УСД-50	Расслоение и непроклеи в многослойных обтекателях толщиной до 100 мм
Свободных колебаний	Спектральный	АД-60К К-Т, УД Velograph II	Расслоения воздушных полостей в изделиях толщиной 15...60 мм, непроклеи между слоями стеклопластика
Акустико-топографический	Амплитудно-частотный	УД2-140, УСД-60Н, АД-701М	Зоны нарушения соединений в слоистых и сотовых конструкциях
Теневой	Временной	УД «А1214 ЭКСПЕРТ», УСД-60ФР, УД-ЕCHOSCOPE 1095	Зоны повышенной пористости, повышенной и пониженной плотности и других физико-механических характеристик
	Амплитудно-временной	Ультразвуковой, дефектоскоп УД2-3С, УД4-94-ОКО-01	Расслоение и непроклеи в многослойных конструкциях
Эхо-метод	Амплитудно-временной	УД-A1550 IntroVisor, УСД-60ФР, Дефектоскоп OMNISCAN SX	Расслоения, трещины, воздушные пузырьки в конструкциях из ПКМ толщиной свыше 7 мм
Реверберационный	Амплитудно-временной	АРДИ-2м, УД-USM GO+	Дефект соединений в многослойных конструкциях.

Для ремонта монолитных и многослойных конструкций из стеклопластика необходимо выполнить комплекс подготовительных работ, обеспечивающих температурно-влажностный режим в помещении (температура не ниже +18°C, относительная влажность не выше 75%).

При подготовке к устранению конкретного дефекта необходимо:

- определить зону повреждения;
- определить границу повреждения;
- определить толщину обшивки, ее состав и тип заполнителя в зоне ремонта;
- определить соответствующие технологические процессы;
- подобрать оборудование, оснастку, расходные материалы; изучить правила безопасности работ.

Установка заплат на ремонтируемую зону может быть выполнена по двум схемам: приклеивание заранее изготовленных заплат и формование заплат из слоев препрега в специально вырезанном в обшивке углублении с частичной заменой (при необходимости) заполнителя. Вторая схема является более предпочтительной, так как позволяет восстанавливать до 91% исходной прочности [5].

Технологический процесс ремонта начинается с выполнения операции разметки дефектных зон. Проведение дальнейших технологических операций зависит от вида дефекта.

При ремонте трещины на носовом обтекателе первым действием необходимо, засверлить концы трещин для недопущения распространения повреждения, затем следует зачистить место дефекта и обезжирить (рис. 5).

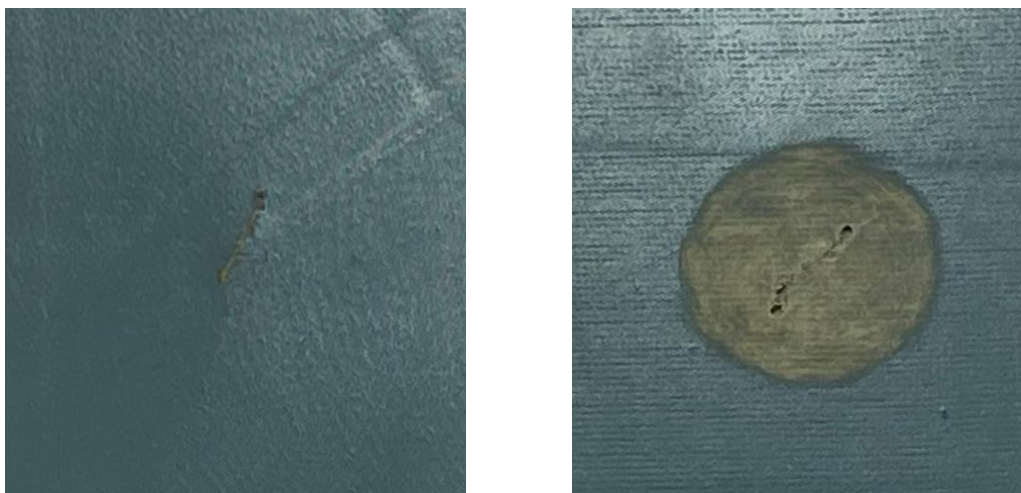


Рисунок 5 – Трещина носового обтекателя

После это подготовить две накладки из стеклоткани с перекрытием повреждения на 30...40 мм, нанести клей ВК-9 на накладку и ремонтируемый участок, приклеить и выдержать 72 часа (рис. 6).





Рисунок 6 – Ремонт трещины многослойных конструкций носового обтекателя

Затем необходимо подготовить две накладки из стеклоткани с перекрытием первой на 30...40 мм по периметру, приклеить второй слой аналогично первому.

Ремонт сквозных повреждений.

Вырезать поврежденный участок с внешней и внутренней его сторон по шаблону, снять стеклоткань на ус (50 мм по периметру), обезжирить и просушить (рис. 7).



Рисунок 7 – Сквозное повреждение трехслойной конструкции с сотовым наполнителем

Подготовить сотовый наполнитель и две заплаты из стеклоткани. С перекрытием выреза на 30 мм по периметру, приклеить внутреннюю заплату по шаблону и просушить, затем вклеить сотовый наполнитель и повторно просушить (рис. 8).



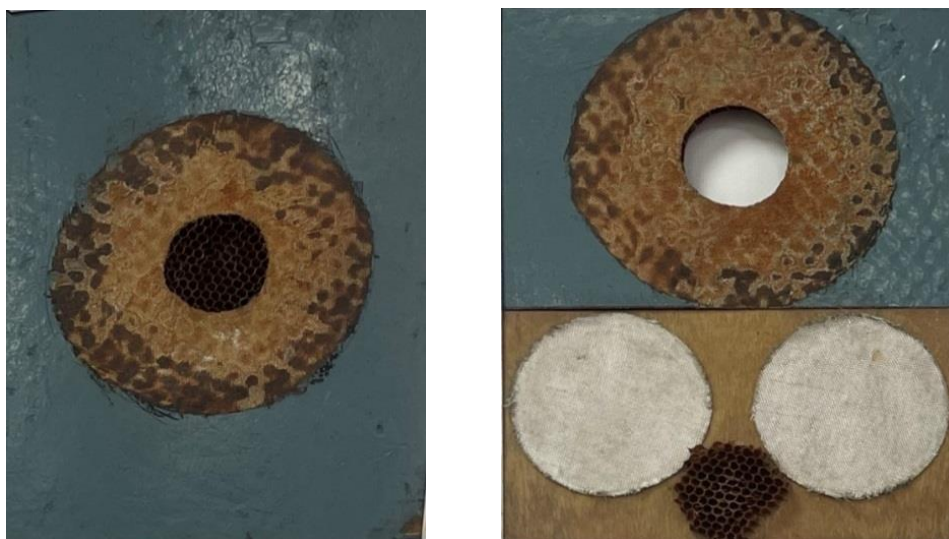


Рисунок 8 – Ремонт трехслойной конструкции с сотовым наполнителем

Затем необходимо приклеить внешнюю заплату из стеклоткани, выдержать 72 часа, после чего приклеить две заплаты с перекрытием первой на 30 мм по периметру (рис. 9).



Рисунок 9 – Наклейка второго слоя заплат из стеклоткани

### **Заключение**

Носовой обтекатель антенн является важной частью воздушного судна, от которого зависят аэродинамические и радиолокационные характеристики ВС. Проанализированы методы неразрушающего контроля, применяемые для оценки технического состояния носового обтекателя из многослойных стеклопластиковых конструкций в условиях эксплуатации, а также технологические процессы ремонта повреждений, которые позволят повысить качество их определения и технологии восстановления.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Неразрушающий контроль: Справочник в 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. 2-е изд., Ультразвуковой контроль. – М.: Машиностроение, 2006.
2. Ланге Ю. В. Низкочастотные акустические методы и средства неразрушающего контроля многослойных конструкций / Ю. В. Ланге // Контроль. Диагностика. – 2004. – № 2. – С. 39-41. – EDN SHAGWV.
3. Мурашов В. В. Контроль монолитных и клееных конструкций из полимерных композиционных материалов акустическим импедансным методом / В. В. Мурашов // Авиационная промышленность. – 2009. – № 3. – С. 43-48. – EDN PJFQMR.
4. Нацубидзе С. А. Производство летательных аппаратов и авиационных двигателей. Учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ. – Иркутск : Иркутский филиал МГТУ ГА, 2016.
5. Ривин Г. Л. / Ремонт конструкций из полимерных композиционных материалов летательных аппаратов. – Ульяновск, 2000.

**УДК 629.7.02**

### ТУ-134УБЛ КАК БИЗНЕС-ДЖЕТ

Болонкин С. А.

Ульянова Н. В.  
(научный руководитель)

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А. Н. Туполева  
(г. Казань)*

**Аннотация.** В данной статье автор рассуждает о создании российского бизнес-джета на базе советского самолета. Также будет вестись дискуссия о проблеме создания таких типов самолетов и их необходимость. Для примера используются иностранные бизнес-джеты. В тексте будут представлены измененные компоновки салонов советских самолетов Ту-134УБЛ в виде бизнес-джетов и история создания данных летательных аппаратов.

Данная статья может быть полезна для студентов, связанных с авиастроением, преподавателей и ведущих инженеров различных Конструкторских Бюро.

**Ключевые слова:** бизнес-джет, дальность, комфортабельность, высота полета, авиаперевозки, авиастроение, модификации.

Бизнес-джеты являются неотъемлемой частью авиастроения. Они используются во всех странах мира и насчитывают большое количество различных моделей. Некоторые авиакомпании создают самолеты, которые специально «заточены» под бизнес-джеты. Данный тип самолетов используется для полета частных лиц и компаний в любую точку мира, не учитывая официальное расписание.

Летательные аппараты такого класса были и существовали на территории РФ, однако в силу политической ситуации, различные западные авиастроительные компании наложили санкции на многие российские авиалинии. Это ударило по всем авиационным перелётам, потому что российские авиакомпании брали иностранные самолеты в лизинг, не имея возможности чинить и ремонтировать их сами и, если с самолетами что-то случалось, их отправляли обратно к себе на родину, а сейчас их вообще нельзя ремонтировать и отправлять их обратно. Это коснулось и бизнес-джетов, ведь большинство самолетов данного класса построены именно иностранными авиакомпаниями. Вместо того, чтобы пытаться договориться с иностранными производителями, я предлагаю создание отечественного самолета данного класса.

Чтобы в принципе рассуждать на данную тему, мы должны понимать, какие именно самолеты подойдут для бизнес-джетов. Это может быть почти любой самолет, потому что каждый самолет может быть использован для разных направлений и задач. Если вы, к примеру, директор крупной компании и собираетесь всем своим большим трудовым коллективом полететь в командировку, то вам потребуется большие дальнемагистральные самолеты, по типу «Boeing 777», «Airbus A380», «Boeing 767» и так далее.



Рисунок 1 – Самолет Airbus A380. *Источник: <https://remnabor.net/a380>*

Если вы руководитель компании и собираетесь срочно долететь в другую страну через расстояние в 3000 км со своими партнерами по бизнесу, то вам потребуются маленький и быстрый летательный аппарат, например, Bombardier Learjet 70 и 75 серии.



Рисунок 2 – Самолет Bombardier Learjet 75 серии. *Источник:* <https://www.aeroflap.com.br/ru>

Если вы хотите с комфортом долететь до назначенной точки, и вы не ограничены по времени, то вам стоит лететь на «Cessna Citation» серии CJ и XLS.



Рисунок 3 – Самолет Cessna Citation серии XLS. *Источник:* <https://mavink.com>

Стоит обратить внимание, что я назвал все иностранные самолеты, но это не значит, что бизнес-джеты могут быть только самолетами, которые и предназначены для данных целей. Что немаловажно, в России уже есть отечественные бизнес-джет самолеты. К примеру, российская компания «Kvand» создает новые компоновки и интерьеры салонов российских самолетов, например, Ту-134, Як-40, Як-42Д.



Рисунок 4 – Изменённый салон самолета Як-42Д. *Источник:* <http://www.kvand.com/ru>



Главный вопрос всей этой темы звучит так: зачем и для кого вообще нужно с нуля создавать новый самолет, который «заточен» лишь под одну категорию? Ответ на этот вопрос включает множество факторов.

Первое, данный бизнес-джет может быть использован политиками, состоятельными людьми и частными компаниями, но они должны создаваться государством, а не частным лицом. Благодаря этому появятся предложения на работу на авиастроительных заводах, а также расширится степень интереса у инженеров в вопросах модернизации и улучшения таких самолетов.

Второе, благодаря российским бизнес-джетам, созданным государством и для государства, поднимется патриотизм и гордость за наш российский авиапром, ведь российские летчики летают на отечественных самолетах вместо западных.

Теперь настал самый главный момент, а из каких самолетов в принципе можно сделать бизнес-джет? Предложений много, но я предлагаю их создать на базе уже имеющегося советского самолёта, который уже не создается на данный момент и летает свои последние часы. Однако, чертежи самолета и сама база создания таких самолетов осталась, поэтому считать, что это полностью новое производство нельзя.

Стоит уже начать говорить про самолет, который эксплуатируется ВВС на территории РФ, это Ту-134УБЛ. Ту-134УБЛ-учебно-тренировочный самолёт, разработанный в ОКБ Туполева в начале 1980-х годов на базе пассажирского лайнера Ту-134.



Рисунок 5 – Самолет Ту-134УБЛ. *Источник:*  
[https://ru.35photo.pro/photo\\_1100516/](https://ru.35photo.pro/photo_1100516/)

Самолёт принят на вооружение ВВС и ВМФ ВС Союза ССР в 1982 году и продолжает использоваться в ВВС России для обучения курсантов полётам на Ту-22М3 и Ту-160. Ниже представлена таблица характеристик Ту-134УБЛ.

Таблица 1 – Характеристики Ту-134УБЛ

Конструкция		ОКБ А.Н. Туполева
Обозначение		Ту-134УБЛ
Тип		Учебно-тренировочный самолет
Экипаж, чел.		4
<b>Геометрические и массовые характеристики</b>		
Длина, м		41,92
Размах крыла, м		29,01
Площадь крыла, м <sup>2</sup>		127,3
Высота, м		9,14
Взлетная масса, кг	нормальная	47600
	максимальная	49000
Масса пустого, кг		29000
Масса топлива, кг		14400
Полезная (боевая) нагрузка, кг		8200
Количество курсантов, чел		12
<b>Силовая установка</b>		
Число двигателей		2
Тип двигателей		ТРДД Д-30 11 серии
Тяга двигателя, кгс (кН)		2х6800 (2х66,7)
<b>Летные данные (расчетные)</b>		
Максимальная скорость полета, км/ч		890
Дальность полета с полезной нагрузкой 5000 кг, км		3200
Практический потолок, м		11800
Взлетная дистанция, м		2150
Посадочная дистанция, м		1980

Также его применяют для поддержания навыков строевых пилотов, чтобы сократить расход лётного ресурса боевых самолётов. Самолет пусть и старый и не используется для коммерческих перевозок, но, по моему мнению, является красивым самолетом и на фоне других бизнес-джетов отличается от всех. Проблема реализации проекта заключается в том, что он используется ВВС РФ. Однако, данный самолет почти пролетал весь свой летный потенциал и есть

возможность создать две версии данного самолета, военно-учебный и бизнес-джет. Понятно, что работы и денег потребуется немало, но ведь данный самолет создавался изначально учебным и никто даже подумать не мог, что кто-то захочет использовать его как летательный аппарат для частных перевозок небольших групп лиц. Да и будем откровенными, данный самолет не способен для дальних перевозок, он среднемагистральный, а значит ограничен для полетов в дальние страны, да и его красивая носовая часть была сделана для того, чтобы имитировать носовую часть бомбардировщиков Ту-160 и Ту-22М3.



Рисунок 6 – Самолет Ту-160. *Источник: <http://aviapressphoto.com/7606/>*

В защиту проекта скажу, что он будет летать лишь на территории России и вряд ли данный самолет заполучат другие страны, только если не повторится ситуация с МиГ-25 в СССР. Это уже зависит исключительно от человеческого фактора, а не из-за самолета, ну и вынужден повториться, это будет модернизация, рассчитанная для частных перевозок.

А что касается модернизации проекта, если постепенно начать производство и планирование, можно выдать тех-задание для моторостроительных заводов, чтобы они либо модернизировали двигатель Ту-134УБЛ, либо сделали новый, благо он не большой, как и его взлетная тяга, то есть звезд он с неба не хватает. Даже можно поставить современные двигатели ПД-8, которые, как сообщают российские источники, скоро могут поставить на новый импортозамещенный «Sukhoi superjet 100», но тут дело можно доверить профессиональным инженерам-конструкторам различных Конструкторских Бюро, разбросанных по всей стране.

Теперь, я предлагаю новый интерьер самолета Ту-134УБЛ, который будет сделан на базе Ту-134. Варианты эскизов салона я взял у российской компании «Kvand» в целях примерно указать компоновку для Ту-134УБЛ, так как эти

модели похожи друг на друга. Главная цель этих летательных аппаратов, это перевозка российских бизнесменов на совещания и встречи.

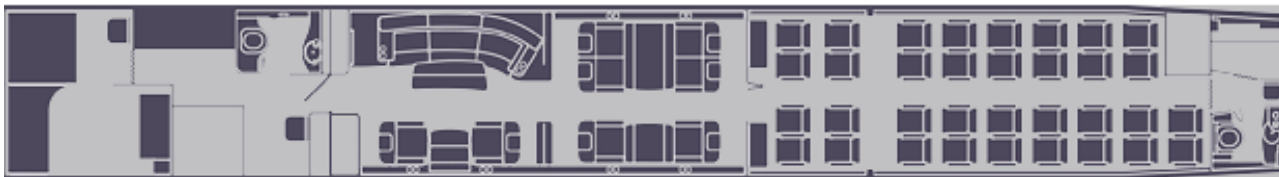


Рисунок 7 – Первая компоновка самолета Ту-134УБЛ. *Источник:*  
<http://www.kvand.com/ru/>

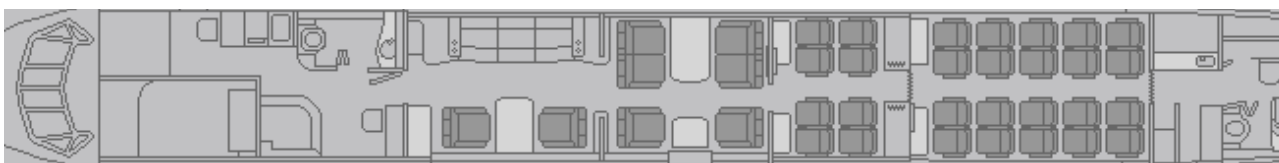


Рисунок 8 – Вторая компоновка самолета Ту-134УБЛ. *Источник:*  
<http://www.kvand.com/ru/>

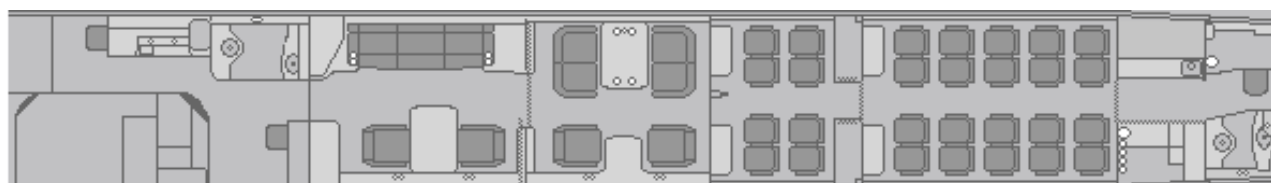


Рисунок 9 – Третья компоновка самолета Ту-134УБЛ. *Источник:*  
<http://www.kvand.com/ru/>

Я уверен, не стоит терять надежду в продолжении этой темы и данного проекта, ведь такой самолет по внешнему виду и своей эстетике идеально подойдет для государственных перевозок и полетов на важные деловые совещания. Подводя итоги, хочу отметить, что в современном мире люди больше всего стали ценить время и поэтому создание быстрых, легких, комфортных и малогабаритных самолетов будет очень кстати.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барковский А. В. Развитие бизнес авиации в России: проблемы и перспективы. – М., 2011.
2. Борисов Н. Н. Использование авиации в бизнесе: анализ эффективности и стоимости / Н. Н. Борисов, И. С. Козлов. – М., 2013. – С. 1-3.
3. Косоногова Е. С. Анализ экономической эффективности в сфере бизнес-авиации / Е. С. Косоногова, В. Н. Савельев // Вестник факультета управления СПбГЭУ. – 2017. – № 1-1. – С. 495-499. – EDN YZCFPX.
4. Иванов А. В. Ту-134 УБЛ: бизнес-авиация в России. – М., 2011. – 23 с.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРВОГО И ВТОРОГО КОНТУРОВ ВРД ДЛЯ ФОРСИРОВАННЫХ РЕЖИМОВ ИХ РАБОТЫ

Борисенко Р. Е.

Даниленко Н. В., канд. техн. наук  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** Исследование особенностей использования первого и второго контуров ВРД для форсирования реактивной тяги двигателя является актуальной задачей как со стороны увеличения тяговооружённости воздушно-реактивных двигателей (ВРД), так и экономичности их режимов. Потребность в исследовании данного направления возникла с момента применения форсажных камер сгорания за газовой турбиной – перед соплом. Появление двухконтурных авиационных двигателей также позволяет форсировать тягу подводом теплоты во II контуре. Но этот процесс связан с потерями теплоты дозвукового ТРДД по II закону термодинамики в силу малой степени расширения газа  $\pi_c$  в реактивном сопле. Это противоречие разрешается ростом напорности воздуха во входном устройстве, следовательно, на сверхзвуковых скоростях полёта ВС. Тогда суммарная степень повышения давления воздуха  $\pi_\Sigma = \pi_\Sigma \cdot \pi_{ВЛ}$  и термический КПД возрастают, а удельный расход снижается. Форсирование тяги во II контуре ТРДД требует изучения этого процесса.

**Ключевые слова:** реактивная тяга, форсирование тяги, потери теплоты, II закон термодинамики, термический КПД, экономичность форсажных режимов ТРДД.

### Введение

Рабочий процесс создания реактивной тяги определён II законом Ньютона. А именно, в формуле Ньютона ускорение твёрдого рабочего тела представлено изменением скорости в единицу времени. А в формуле реактивной тяги газотурбинного двигателя изменение скорости, эквивалентное ускорению газа в проточной части газотурбинного двигателя прямой реакции. Это заметно по формулам Ньютона и Стечкина, представленным ниже:

$$P = m \cdot a, \text{ Н}; \quad (1)$$

$$P = G_B (c_c - V), \text{ Н}. \quad (2)$$

Как видим, реактивная тяга является следствием II закона Ньютона, либо его представления в виде теоремы Эйлера для изменения количества движения,

$$P = m \cdot a = G_\Gamma \cdot c_c - G_B \cdot V_H = G_B \left( (1 + g_T) \cdot c_c - V_H \right), \text{ Н}. \quad (3)$$

Но в теории газотурбинных двигателей [1, 2] и в термодинамике [3] рабочий процесс ускорения рабочего тела связан с основными уравнениями движения газа. К ним относят:

- уравнение неразрывности течения газа

$$\rho_i \cdot c_i \cdot F_i = \text{const}; \quad (4)$$

- уравнение сохранения энергии движения газа [1, 2] с учётом внешнего энергообмена газа посредством механической работы  $L_{\text{вн}}$  и теплоты  $Q_{\text{вн}}$ .

$$i_1 + \frac{c_1^2}{2} \mp L_{\text{вн}} \mp Q_{\text{вн}} = i_2 + \frac{c_2^2}{2}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}. \quad (5)$$

Здесь сумма удельных энтальпии  $i_2$  и кинетической энергии  $c_2^2 / 2$  определена энергообменом посредством подводимых удельных (для 1 кг газа) механической работы и теплоты.

В термодинамике и теории тепловых двигателей рабочий процесс (РП) ускорения газа в проточной части ГТД и создания механической работы на выводном валу имеет цель получения полезной работы цикла и высокой экономичности. В современных авиационных ГТД подводимая теплота  $Q_{\text{вн}}$  эффективно используется только в основной камере сгорания I контура при сравнительно высокой суммарной степени повышения давления  $\pi_{\Sigma \text{ сж}} = p_{\text{к}}^* / p_{\text{н}} = \pi_{\Sigma \text{ расш}} > 30 \dots 40$  ед. Существенными потерями отличаются процессы подвода теплоты в форсажной камере сгорания за газовой турбиной I контура, то есть, перед реактивным соплом с перепадом давления  $\pi_{\text{с}} \geq 3 \dots 5$  ед., а также в камере сгорания II контура ТРДД дозвукового воздушного судна (ВС) при различных внешних условиях – скоростях (числах Маха) и высотах полёта.

В дозвуковых турбовальных (ТВаД) двигателях форсажная камера сгорания также может располагаться перед свободной турбиной. Но она, как и форсажная камера сгорания I контура ТРДД, не экономична, так как подведенная теплота  $Q_{\text{ф}}$  используется в свободной газовой турбине с малой степенью расширения газа с последующим отводом его в холодильник.

Указанные проблемы экономичности ГТД требуют от эксплуатационных организаций ограничений на использование камер сгорания в особых случаях – малая длина ВПП, взлёт по вертолётному, активный набор высоты, перегруженное воздушное судно, предельно большие высоты и др.

Стоит проблема теоретического обоснования дополнительного подвода теплоты к сжатому рабочему телу в процессе форсирования тяги ГТД прямой реакции либо мощности на выводном валу ТВаД. Решение этой задачи и обоснование способов форсирования воздушно-реактивных авиационных двигателей лежит в рамках термического КПД. Именно он,  $\eta_t$ , обеспечивает разрешения термодинамических противоречий и указывает на направления выбора оптимального способа использования теплоты [3].

### Рабочий процесс форсирования тяги газотурбинных двигателей.

Сущность рабочего процесса форсирования ГТД описана термическим КПД. Его определение построено на относительной величине использования подводимой теплоты  $Q_0$  в процессе превращения её доли  $Q_0 - Q$  в полезную работу с выбрасываемым остатком в виде потерь по II закону термодинамики, определяющих тепловую экономичность газотурбинного двигателя [3].

$$\eta_t = \frac{Q_0 - Q}{Q_0} = 1 - \frac{1}{\pi_\Sigma^{\frac{k-1}{k}}} < 1, 0. \quad (6)$$

Графическая интерпретация указанной закономерности представлена на Рис. 1 в виде зависимостей термического КПД ГТД  $\eta_t$  и его производной  $\eta'_t$  по суммарной степени повышения давления  $\pi_\Sigma$  в процессе сжатия воздуха и расширения газа.

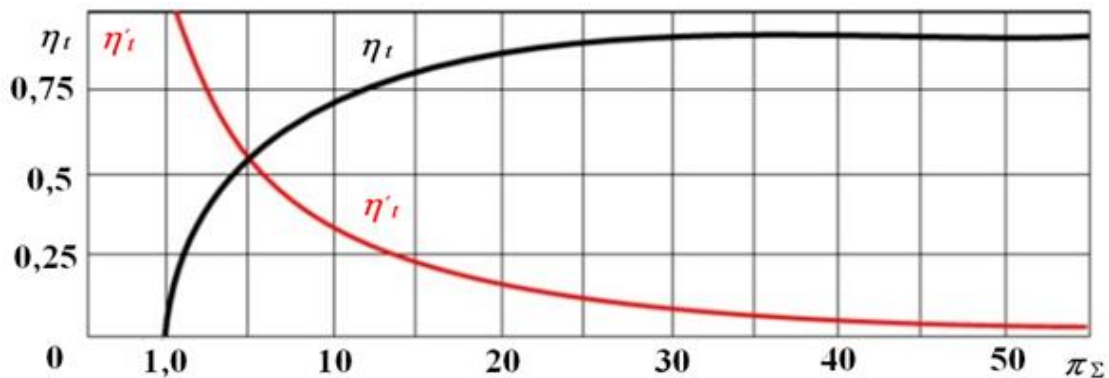


Рисунок 1 – Зависимость термического КПД и его производной от суммарной степени повышения давления  $\pi_\Sigma$

Термический КПД с ростом суммарной степени повышения давления монотонно возрастает, стремится к единице, но никогда её не достигает. Анализ термического КПД может быть сведён к его следствиям.

1. Не сжатый воздух (газ) при степени повышения давления  $\pi_\Sigma$ , стремящейся к единице, в ГТД не способен совершать работу  $L_{ц}$  в виде механической работы на выводном валу и (или) в виде приращения кинетической энергии газового потока в его проточной части. Вся подведённая теплота выбрасывается в окружающую среду (холодильник).

2. Только сжатое и подогретое рабочее тело способно совершать работу. Например, при  $\pi_\Sigma = 4$  в холодильник отправляется 50 % подводимой теплоты.

3. Темпы роста  $\eta'_t$  термического КПД максимальны в начале термодинамической характеристики при низкой степени повышения давления ( $\pi_\Sigma < 5$ ). Здесь совершенствование ГТД пока не эффективно.

4. При суммарной степени повышения давления  $\pi_\Sigma = 10$  термический КПД подходит к  $\eta_t \approx 0,74$ . Темпы роста заметно снижаются (см. Рис. 1).

5. За отметкой  $\pi_{\Sigma} > 30$  единиц темпы роста  $\eta_t$  заметно малы. Это подтверждает производная  $\eta'_t$ . Следовательно, затраты на повышение давления в компрессоре ГТД с высокой напорностью и на полезную работу тепловой газотурбинной машины не эффективны. Требуется искать новое решение выбора  $\pi_{\Sigma}$ . И оно очевидно и доказано практикой. На один из сверхзвуковых самолётов установлен низконапорный компрессор ( $\pi_{\kappa} = 5 \dots 6$  единиц), работающий на расчётном числе Маха  $M_{н.р} = 2,83$ . Тогда суммарная степень повышения давления, определяемая выражением  $\pi_{\Sigma} = \pi_{вх} \cdot \pi_{\kappa}^*$  больше 100 единиц. Следовательно, сжигание топлива в форсажной камере сгорания за газовой турбиной стало более экономичным, равным экономичному дозвуковому режиму, близкому по скорости полёта к  $V_{эк} \approx 900$  км / ч.

Указанный пример разрешения противоречия экономичности подвода теплоты в форсажной камере сгорания требует математического обоснования.

**Обоснование рабочего процесса размещения камеры сгорания во II контуре с собственным реактивным соплом.** Автор статьи более склонен к переходу на больших числах  $M_n$  полёта от схемы ТРДД<sub>см</sub> А. Л. Люлька 1938 года на схему ТРДД без смешения потоков I и II контуров с форсажной камерой сгорания во II контуре и собственным всережимным регулируемым соплом. Такое предложение имеет своё обоснование.

При больших скоростях полёта ( $M_n > 3,0$ ) реальная степень повышения давления сверхзвукового входного устройства с учётом волновых потерь  $\pi_{вх} > 25$  ед (Рис. 2 а) [1, с. 262, рис. 11.2]. Вентилятору II контура присуще среднее значение  $\pi_{вл}^* \approx 2,0$ . Следовательно, суммарная степень повышения давления во II контуре  $\pi_{\Sigma} = \pi_{вх} \cdot \pi_{вл} \approx 50$  единиц. Тогда реактивное сопло II второго контура, реализуя указанный перепад давления  $\pi_{\Sigma} \approx 50$ , способно на  $M_n \geq 2,5$  к разгону потока в реактивном сопле до его скорости  $c_{с.ф. II} > 1600$  м / с. При температуре газа в форсажной камере  $T_{\phi}^* = 2000$  К II контур способен дать на кормовом срезе сопла скорость газа  $c_{с.ф} \approx 1640$  м / с, что графически представлено на термодинамической характеристике сопла II контура на Рис. 2 б.

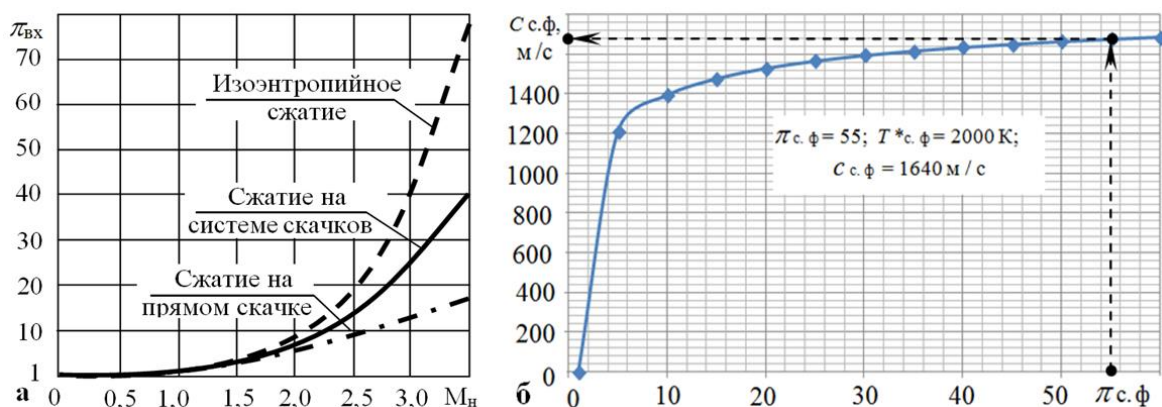


Рисунок 2 – Влияние входного устройства на характеристики сопла:  
**а** – по степени повышения давления [1]; **б** – по скорости газа на срезе сопла

Отметим, что с ростом числа Маха увеличивается температура газа во II контуре перед его камерой сгорания. Следовательно, снижается количество теплоты, подводимой в камере сгорания II контура ТРДД, что также может сказаться на его экономичности.

$$\downarrow Q_{\text{ф.к.с}} = C_{\text{п}} (T_{\text{ф.п}}^* - \uparrow T_{\text{в}}^*), \text{ Дж / кг}, \quad (7)$$

При таком раскладе теплового поля форсажной камеры II контура можно получить скорость истечения газа из его сопла, близкую к  $c_{\text{с.ф.п}} = 1640 \text{ м / с}$ , в то время как  $c_{\text{с.ф.ТРДФ}} \approx 1200 \text{ м / с}$ . Рост  $c_{\text{с.ф.п}}$  сопровождается ростом удельной тяги  $P_{\text{уд}}$  II контура, снижением удельного расхода топлива и повышением экономичности – уменьшением  $C_{\text{уд.ф.п}}$  ТРДД без смешения потоков.

Примечание. На больших сверхзвуковых скоростях ( $\uparrow M_{\text{н}}$ ) имеет место вырождение компрессора ГТД по причине роста теплового сопротивления, в поле которого активно возрастает полная температура воздуха на входе не только во II контур, но и на входе в I-ю ступень компрессора I контура. При таких газодинамических параметрах возникающее тепловое противоречие, определяемое уравнением сохранения энергии (5), может быть представлено в виде падения степени повышения давления в компрессоре ( $\downarrow \pi_{\text{к}}^*$ ) на Рис. 3.

$$L_{\text{к}} = \frac{k}{k-1} R \cdot \left( \downarrow T_{\text{в}}^* \left( \downarrow \pi_{\text{к}}^{* \frac{k-1}{k}} - 1 \right) \right) \frac{1}{\eta_{\text{к}}^*} = \text{const}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}. \quad (8)$$

Термодинамическая характеристика (8) ОК легла в основу программы его термодинамической характеристики по  $\pi_{\text{к}}^*$  и температуре  $T_{\text{в}}^*$  (Рис. 3).

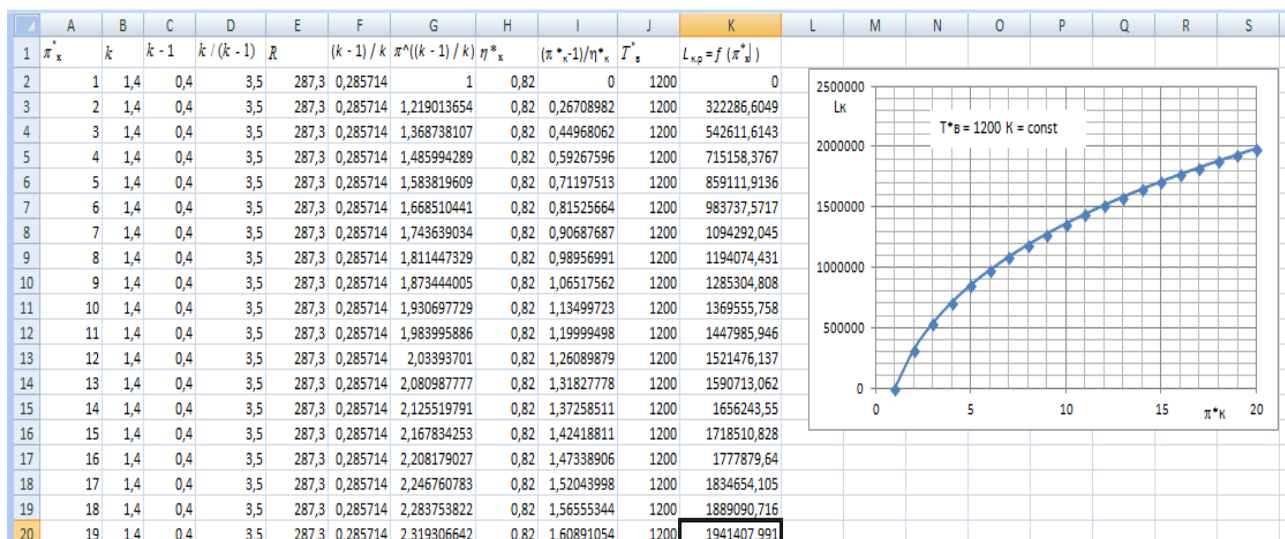


Рисунок 3 – Термодинамическая характеристика компрессора  $L_{\text{к. потр}} = f(\pi_{\text{к}}^*)$

Как следствием программы (Рис. 3) стало поле характеристик ОК (Рис. 4).

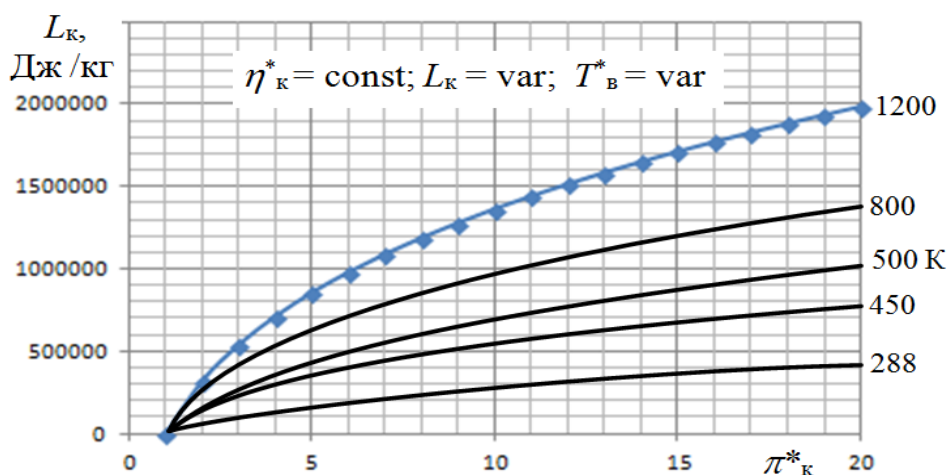


Рисунок 4 – Поле характеристик компрессора  $L_k = f(T_b^* \text{ и } \pi_k^*) = \text{const}$

Анализ поля термодинамических характеристик ОК показал, что с ростом полной температуры  $T_b^*$  от 288 до 1200 К имеет место процесс роста потребной работы на входе в компрессор. Согласно уравнению (8), при постоянной работе  $L_{т.к}$ , передаваемой турбиной на компрессор, последний входит в режим «вырождения», как следствия роста теплового сопротивления. При этом, снижение напорности компрессора сопровождается падением степени расширения  $\pi_t^*$  газа на турбине, то есть, её работы  $L_t$  и активацией режима «вырождения», компрессора с  $\pi_k^* = 1,0$ . Компрессор входит в режим авторотации и исключает себя из рабочего процесса создания полезной работы I контура. Следовательно, ТРДД стремится к превращению двухконтурного двигателя в прямоточный ТРД по II контуру

### Заключение

Анализ проведенных исследований расширяет рамки (диапазон) использования подвода теплоты во II контуре ТРДД без смешения потоков на сверхзвуковых воздушных судах Гражданской авиации.

Целевое выключение I контура может стать элементом программы управления по переводу II контурного двигателя в более эффективный прямоточный двигатель на больших сверхзвуковых скоростях полёта.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Нечаев Ю. Н.* Теория авиационных двигателей. Ч. 1. Учебник для ВУЗов ВВС / Ю. Н. Нечаев, Р. М. Федоров, В. Н. Котовский, А. С. Полев / Под ред. Ю. Н. Нечаева. – М.: Изд. ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского. 2005 г. – 366 с.
2. Теория газотурбинных двигателей. Ч. 1. Теоретические основы рабочего процесса элементов газотурбинной силовой установки и её двигателя. Книга 1. Основные уравнения движения газа Тяга и удельные параметры. Рабочий процесс и характеристики входных устройств : учебное пособие. – Иркутск: Иркутский филиал МГТУ ГА, 2020. – 194 с.
3. *Котовский В. Н.* Техническая термодинамика: тексты лекций. – М.: МГТУ ГА, 2015. – 88 с.

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОСТЕКЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Бредун Ю. И.

Нацубидзе С. А., канд. техн. наук  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** В статье проанализированы методы определения технического состояния остекления кабин воздушных судов, применяемые в условиях авиационно-технических баз. Проанализированы перспективные методы неразрушающего контроля остекления кабин воздушных судов.

**Ключевые слова:** остекление, серебро, глубина, стекло, спекл, прибор.

При производстве остекления воздушного судна применяют материалы на основе органических и силикатных стекол. В качестве однослойного (листового) материала для остекления воздушного судна применяется органическое стекло.

Под влиянием эксплуатационных факторов на деталях остекления могут возникать следующие дефекты и повреждения:

- трещины – частичное или полное нарушение целостности стекла;
- поверхностное растрескивание («серебро») – очаги микротрещин, обнаруживаемые невооружённым глазом в отраженном свете по характерному серебристому блеску;
- сколы (забоины) – местное повреждение стекла, образовавшееся в результате отрыва части стекла;
- точечные повреждения стекла в виде впадин;
- царапины – поверхностное повреждение стекла, образовавшееся в результате режущего воздействия твердых частиц (предметов);
- разрушение соединений в заделке остекления [1].

При выполнении всех видов технического обслуживания ВС и регламентных работ, а также при поступлении ВС в ремонтные органы остекление кабин подлежит, прежде всего, тщательному внешнему осмотру. Внешний осмотр проводится с целью обнаружения повреждений, влияющих на изменение оптических свойств и прочности стекла [5].

Визуально могут быть обнаружены риски, царапины, трещины, сколы, забоины и сквозные повреждения.

Глубину царапин и забоин измеряют с помощью индикаторного глубиномера (рис. 1). Снятие показаний осуществляется по стрелочному индикатору с ценой деления 0,01 мм [7].





Рисунок 1 – Концевой индикатор КИ-1

Ширину царапин измеряют микроскопом марки МПБ-2 (рис. 2).



Рисунок 2 – Микроскоп МПБ-2

Для выполнения замера микроскоп устанавливают на стекло так, чтобы измеряемая царапина проходила через середину поля зрения. После этого вращением кольца окуляра необходимо достичь четкую видимость в поле зрения шкалы. Вращением тубуса следует расположить шкалу перпендикулярно царапине. Отсчет ширины царапины производится непосредственно по шкале. Длину царапины можно определить с помощью масштабной линейки.

Изогнутую царапину нужно измерить по хорде так, чтобы наибольшее удаление края линейки от царапины не превышало 5 мм. Затем полученные результаты необходимо суммировать.

Для измерения забоины необходимо установить микроскоп МПБ-2 на стекле таким образом, чтобы в поле зрения шкала совмещалась с изображением забоины. Вращая шкалу и перемещая микроскоп, необходимо найти и отметить наибольшее расстояние по прямой линии (вдоль шкалы) между краями забоины. Это расстояние является размером забоины.

Определение глубины «серебра» производится с помощью микроскопа МПБ-2 со специальной стойкой, позволяющей устанавливать микроскоп под углом  $45^\circ$  к поверхности стекла.

Измерение площади поверхности стекла с «серебром» производится при помощи масштабной линейки, измеряя ею площадь воображаемого прямоугольника, в котором помещается участок стекла, имеющий «серебро».



Определение трещин, сколов и «серебра» по краю не демонтированных с ВС стекол основано на использовании явлений преломления и отражения света в стекле. Предназначенный для этой цели прибор состоит из смотровой призмы и осветителя (рис. 3). При работе смотровую призму необходимо установить на стекло вблизи края заделки, а осветитель – на некотором расстоянии от края. Благодаря явлению полного внутреннего отражения свет проникает по сечению стекла, освещая дефекты, которые можно наблюдать с помощью смотровой призмы. Дефектацию необходимо производить в затемненном помещении или при местном затемнении [2].

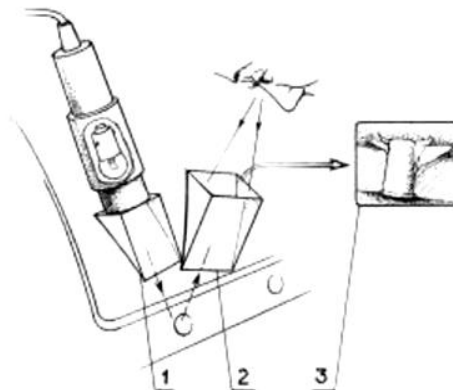


Рисунок 3 – Осветитель и смотровая призма: 1 – осветитель; 2 – смотровая призма; 3 – вид повреждений крепления стекла

Для определения напряжений в местах заделки остекления применяется поляроидный прибор (рис. 4). Освещая контролируемый участок фонариком с одной стороны и осматривая в поляроидных очках с другой, можно обнаружить, наличие или отсутствие напряжения в стекле. В очках и в фонарике установлены стекла с нанесенной на них дифракционной решеткой.



Рисунок 4 – Поляроидный прибор

Перспективным методом контроля технического состояния элементов остекления кабин ВС в условиях эксплуатации является метод акустической эмиссии (АЭ) [9].

Он основан на регистрации упругих волн, излучаемых дефектами, развивающимися в нагруженных конструкциях. Зародившаяся волна напряжений распространяется в материале конструкции, поступает на вход датчиков, где преобразуется в электрический сигнал. Сигнал поступает на вход измерительной аппаратуры, фильтруется, усиливается и преобразуется из аналогового в цифровой, который затем вводится в компьютер для дальнейшей обработки и анализа.

Метод АЭ позволяет с большой достоверностью обнаруживать структурные дефекты и усталостные повреждения в виде развивающихся трещин на труднодоступных участках силовых элементов остекления при проведении технического обслуживания и ремонта авиационной техники, повысить оперативность контроля технического состояния остекления кабин ВС.

Для определения повреждений на авиационном стекле глубиной до 100 мкм можно применить цифровую голографическую камеру (рис. 5). Лазерное излучение от источника проходит через коллиматор, образуя пучок необходимого диаметра, который затем освещает на просвет исследуемое стекло. Излучением формируется интерференционная картина волн, рассеянных неоднородностями и прошедших без рассеяния. Камера регистрирует ее, после чего данные в виде двумерного массива дискретных квантованных значений интенсивности сохраняются в памяти компьютера. Этот двумерный массив и является цифровой голограммой объема среды [6].

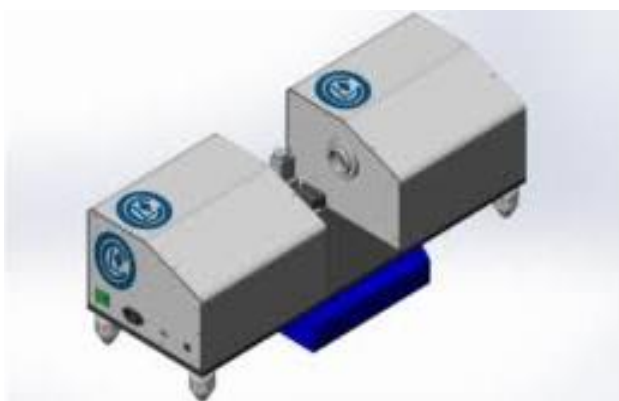


Рисунок 5 – Цифровая голографическая камера

Дефекты и повреждения в заделке остекления кабины воздушного судна предлагается определять с помощью метода спекл-структур оптического излучения [8].

Спеклы – это интерференционная картина нерегулярных волновых фронтов, образующаяся при падении когерентного излучения на сильно шероховатую поверхность.

Спекл-узоры несут информацию о деформациях поверхности объекта.

Реализация данного способа заключается в плавном создании избыточного давления в кабине ВС до заданной величины, поддержании его в течение некоторого времени и определении наличия дефекта в заделке

остекления, по анализу изменения параметров спекл-полей зарегистрированных от контролируемых участков остекления до и после создания избыточного давления.

При превышении разности параметров критического значения принимают решение о наличии дефекта в заделке остекления кабины воздушного судна в данной точке и оценивают степень выхода остекления из заделки. При нарушении по какой-либо причине поверхности объекта или его перемещения изменяются амплитуды и фазы отраженных волн, следовательно, изменяется и картина спеклов. Изменение амплитуд и фаз волн может быть обусловлено перемещением объекта как целого и его жестким поворотом или малыми изменениями расстояний между площадками вследствие упругих деформаций поверхности. Картину спеклов можно сформировать при проверке прозрачных объектов, осветив их через матовое стекло (рис. 6).

Таким образом, по характеру изменения картины спеклов становится возможным контролировать явления, происходящие на поверхности или вблизи поверхности отражающих тел или внутри прозрачных сред.

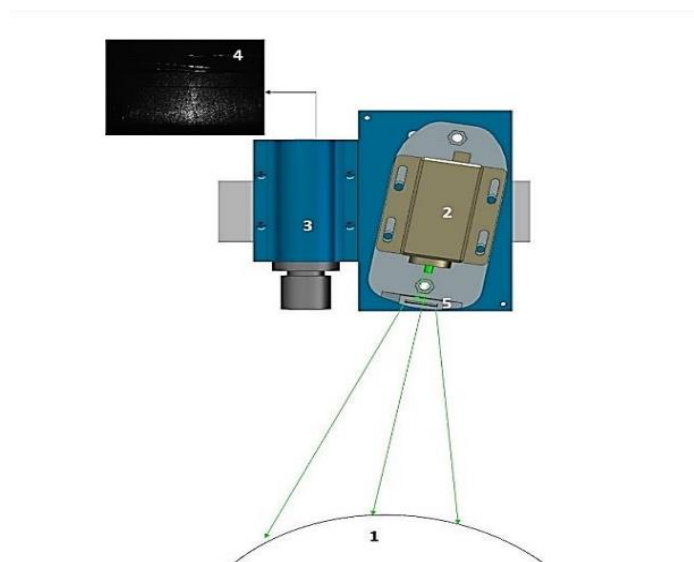


Рисунок 6 – Процесс регистрации картин спеклов с остекления кабины ВС: 1 – остекление; 2 – лазер; 3 – видеокамера; 4 – картина спеклов; 5 – матовое стекло

Недостатком метода спекл-структур является невозможность определения глубины конкретной поверхностной «трещины» и необходимость извлечения стекла из самой конструкции.

### **Заключение**

Выполнен анализ возможных эксплуатационных повреждений остекления кабин воздушных судов. Проанализированы применяемые в процессе эксплуатации существующие методы определения технического состояния остекления кабин ВС.

Рассмотрены перспективные методы определения технического состояния остекления кабин воздушных судов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Нацубидзе С. А.* Производство летательных аппаратов и авиационных двигателей. Учебное пособие. – Иркутск, Иркутский филиал МГТУ ГА, 2023.
2. *Нацубидзе С. А.* Производство летательных аппаратов и авиационных двигателей. Учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ. – Иркутск, Иркутский филиал МГТУ ГА, 2016.
3. *Горюнов А. Е.* Неразрушающий контроль композитных материалов по анализу параметров цифровой спекл-фотографии / А. Е. Горюнов, П. В. Павлов, Н. В. Петров // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, 2014.
4. *Усов С. М.* Исследование полей остаточных напряжений с использованием трещин-индикаторов и метода электронной спекл-интерферометрии / С. М. Усов, И. А. Разумовский, И. Н. Одинцев // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2021. Том 87, №9.
5. Издательство «Воздушный транспорт» / Технологические указания по текущему ремонту самолётов Ан-24, Ан-26 и Ан-30. / г. Москва 1980 г. (сверено с контрольным экземпляром в 2013 году).
6. Способ поиска микрповреждений в авиационных стеклах – [Электронный ресурс] – URL: <https://technoveru.com/uchenye-rff-nashli-effektivnyj-sposob-poiska-mikropovrezhdenij-v-aviacionnyh-steklah/> (дата обращения: 25.11.2023)
7. Инструкция по дефектации и восстановлению органических стекол салонов и кабин самолётов и вертолётной гражданской авиации. [Электронный ресурс] – URL: <https://pandia.ru/text/82/088/26356.php> (дата обращения: 25.11.2023)
8. *Степанов А. Р.* Аппаратно-программный комплекс спекл-лазерной диагностики элементов остекления кабин самолетов / А. Р. Степанов, П. В. Павлов, А. П. Владимиров // Труды МАИ. – 2023. – № 129. – DOI 10.34759/trd-2023-129-23. – EDN ILQTYZ.
9. *Попов А.* Новый способ диагностики остекления кабин воздушных судов / А. Попов, А. Комлев // Инженер и промышленник сегодня. – 2022. – Выпуск №1 (55).

**УДК 629.737.33.0184**

### **ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ РУЛЕВОГО ВИНТА НА ВЕРТОЛЁТЕ**

Бурлаченко М. В.

Вознюк И. В.

(научный руководитель)

*ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского  
и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы конструкции и эксплуатации рулевого винта типа Фенестрон. Проведен анализ положительных и отрицательных факторов замены рулевого винта вертолётной на рулевой винт типа Фенестрон. Рассмотрены актуальные моменты, влияющие на улучшение вертолётного управления.

**Ключевые слова:** Фенестрон, рулевой винт, трансмиссия, путевое управление.

Известно, что в ходе боевых действий, при стопроцентной заправке топливом, вертолет оснащается боекомплектом лишь на 50% или, соответственно, наоборот, в зависимости от полетного задания. Совмещение боевой нагрузки и заправки на 100% – невозможно. Это может привести к увеличению расхода топлива, снижению ряда других ЛТХ. Улучшение одних характеристик всегда сопровождается ухудшением других, поэтому, при создании или модернизации того или иного ЛА необходимо идти на компромисс.

Чтобы увеличить боевую нагрузку и дальность полета нужно предпринять ряд конструктивных мер, направленных на уменьшение массы вертолета. Таким образом, эффективность применения модернизированного Ми-8МТ возрастает, что позволит ему за один боевой вылет преодолеть большее расстояние при максимальной боевой нагрузке и уничтожить большее количество наземных целей, чем его прототип. Чтобы уменьшить массу вертолета Ми-8МТ предлагается, а также вместо рулевого винта установить винт типа Фенестрона. Таким образом, вес модернизированного вертолета по сравнению с прототипом уменьшится на 430 кг.

Фенестрон, вертолёт, рулевой винт, путевое управление.

Интересы сохранения безопасности нашей Родины требуют постоянного повышения боеготовности и боевой мощи Вооруженных Сил. В настоящее время Вооруженные Силы РФ оснащены многими видами современного оружия, представляющие собой единый мощный оборонный комплекс, функционирование которого заключается в готовности к отражению и уничтожению любого агрессора извне.

Постоянно повышается огневая мощь и маневренность сухопутных войск, однако для успешного проведения современных фронтовых операций они еще в большей степени нуждаются в поддержке армейской авиации. В настоящее время армейская авиация является важнейшим компонентом ВС. С помощью нее решается очень широкий круг задач, стоящих перед ВС. Решаются задачи, связанные с транспортировкой крупногабаритных грузов, перевозки людей и различных грузов в грузовой кабине и на внешней подвеске, а также задачи огневой поддержки сухопутных войск РФ. На территории Украины, при проведении специальной военной операции в этом отлично зарекомендовал себя и получил широкое применение вертолет Ми-8МТ.

Известно, что в ходе боевых действий, при стопроцентной заправке топливом, вертолет оснащается боекомплектом лишь на 50% или, соответственно, наоборот, в зависимости от полетного задания. Совмещение боевой нагрузки и заправки на 100% – невозможно. Это может привести к увеличению расхода топлива, снижению ряда других ЛТХ. Улучшение одних характеристик всегда сопровождается ухудшением других, поэтому при создании или модернизации того или иного ЛА необходимо идти на компромисс.

Чтобы увеличить боевую нагрузку и дальность полета нужно предпринять ряд конструктивных мер, направленных на уменьшение массы вертолета. Таким образом, эффективность применения модернизированного

Ми-8МТ возрастает, что позволит ему за один боевой вылет преодолеть большее расстояние при максимальной боевой нагрузке и уничтожить большее количество наземных целей, чем его прототип. Чтобы уменьшить массу вертолета Ми-8МТ предлагается вместо рулевого винта установить винт типа Фенестрона. Таким образом, вес модернизированного вертолета по сравнению с прототипом уменьшится 430 кг.

Фенестрон, рулевой винт, несущий винт, путевое управление, вертолёт.

Основные типы рулевых устройств можно разделить на следующие:

- использующие тяги рулевых винтов, установленные в продольной плоскости, или воздушного винта, установленного на крыльях;
- создающие аэродинамическую силу в индуктивном потоке, отбрасываемом несущим винтом;
- с дефлекторами, отклоняющими поток от воздушного винта, установленного в хвостовой части фюзеляжа;
- создающие реактивную силу струи, выдуваемую вбок из сопла на конце хвостовой балки.

На вертолете одновинтовой схемы устанавливается рулевой винт (РВ), предназначенный для уравнивания реактивного момента несущего винта (совместно с боковой составляющей тяги НВ) и путевого управления вертолетом.

Традиционной первоначальной конструкцией РВ были винты с втулками, имевшими только горизонтальные и осевые шарниры.

Рулевой винт выполнен обычно толкающим по отношению к килю с целью уменьшения потерь тяги на обдувку на «моторных» режимах работы НВ, когда мощность подводится к его валу. На режиме авторотации, когда с НВ снимается небольшая мощность, тяга РВ меняет знак. Для уменьшения длины хвостовой балки и габаритов вертолётной нагрузки на ометаемую площадь РВ обычно выше, чем у НВ почти в 2 раза [1].

Рулевой винт также обеспечивает путевое управление и путевую устойчивость вертолётной. В горизонтальном полёте реактивный момент может уравниваться несимметричным килём, имеющим угол заклинивания, а также шайбами, устанавливаемыми на концах стабилизатора под углом заклинивания по отношению к продольной оси вертолётной. Киль и шайбы обеспечивают путевую устойчивость вертолётной в горизонтальном полёте. Установка киля и шайб позволяет разгрузить рулевой винт, повысить его ресурс, а за счёт снижения сопротивления уменьшить расход топлива в полёте. Вращающиеся лопасти РВ, близко расположенные от поверхности земли, представляют повышенную опасность для обслуживающего персонала и могут являться причиной аварий и поломок лопастей при полёте вблизи препятствий и эксплуатации на площадках ограниченных размеров.

Этот недостаток отсутствует у рулевого винта типа фенестрон.

Система фенестрон состоит из многолопастного винта, расположенного в профилированном кольцевом канале киля. Киль защищает от повреждений лопасти винта. Данная система включает статор (неподвижная часть) и ротор (вращающаяся центральная часть). Лопатки прикреплены к центральной части.

Каждая лопасть может проворачиваться вокруг своей оси для изменения угла атаки. На лопасти фенестрона имеется один постоянный магнит.

Применение на вертолете фенестрона вместо традиционного рулевого винта (РВ) позволяет получить целый комплекс положительных качеств: повышается безопасность полета при маневрах у земли на площадках ограниченных размеров с препятствиями; повышается безопасность работ для обслуживания персонала, особенно при плохой видимости; повышается боевая живучесть вертолета; уменьшается время подготовки к боевому вылету; снижаются экономические расходы на обслуживание, ремонт агрегатов.

Параметры фенестрона прежде всего влияют на уровень затрат мощности на привод его винта нависания. Вместе с параметрами несущего винта вертолета они определяют требуемую энерговооруженность вертолета. Помимо энергетики выбор параметров фенестрона определяет массу его конструкции, массу элементов трансмиссии привода винта фенестрона, а в итоге массу конструкции всей хвостовой части вертолета и взлетную массу вертолета [2].

Основные параметры фенестрона, подлежащие выбору являются:

- Диаметр винта;
- Заполнение винта фенестрона;
- Радиус скругления входной кромки;
- Длина;
- Угол раствора диффузора;
- Диаметр втулки фенестрона;
- Радиус фенестрона.

Боковая сила, уравновешивающая реактивный момент, создаётся тягами винта и кольца за счёт разрежения, возникающего на его поверхности, а также боковой силой несимметричного кия в горизонтальном полёте.

При выборе диаметра рулевого винта учитывают:

- возможность размещения РВ с таким диаметром на вертолете данной размерности;
- расстояние от конца лопастей до поверхности площадки;
- ожидаемую массу РВ, хвостового редуктора, трансмиссии и хвостовой балки, с точки зрения исключения значительной задней центровки вертолета;
- создаваемое аэродинамическое сопротивление РВ и балкой;
- соответствующие затраты топлива в полете;
- мощность, потребляемую РВ на режиме висения ("балансирующие потери"). Применение фенестрона вместо традиционного РВ несколько ухудшает путевую устойчивость вертолета, поэтому вертолет с фенестроном обязательно должен иметь киль соответствующей площади [3].

С увеличением взлетной массы вертолета должна соответственно увеличиваться оптимальная величина относительного диаметра винта фенестрона.

Результаты оценок, проведенных в МАИ, показали, что фенестрон имеет наилучшее энергетическое совершенство при использовании прямоугольных лопаток винта с умеренной круткой.

Диаметр фенестрона меньше диаметра традиционного рулевого винта, что позволяет уменьшить передаточное число хвостового редуктора, а, следовательно, массу трансмиссии. При этом отпадает необходимость в промежуточном угловом редукторе, что также снижает массу [4].

На режиме висения при уменьшении диаметра винта на привод фенестрона требуется большая мощность, чем на рулевой винт. В горизонтальном полёте затраты могут быть меньшими на несколько процентов или такими же, как у рулевого винта. Развитый по площади киль фенестрона позволяет в случае выхода из строя хвостовой трансмиссии или винта фенестрона осуществлять горизонтальный полёт и посадку вертолёт с небольшим углом скольжения. Новая система практически исключает опасность задевания вращающимися лопатками препятствий при маневрировании у земли. Существенно увеличивается безопасность работ обслуживающего персонала, особенно в условиях плохой видимости (ночь, туман, дождь, снег). Повышается надежность как отдельных агрегатов, так и вертолета в целом. Отпадает необходимость в промежуточном редукторе и изгибе балки. Фенестрон существенно разгружает винт, так как значительная доля боковой силы создается профилированной входной частью канала. Благодаря чему уменьшаются переменные напряжения в элементах конструкции, особенно на высоких скоростях. В горизонтальном полете фенестрон значительно разгружается и потребляет меньшую мощность, чем рулевой винт.

Применение рулевого устройства типа фенестрон дало следующие результаты: диаметр фенестрона меньше диаметра традиционного рулевого винта, что позволяет уменьшить передаточное число хвостового редуктора, а, следовательно, массу трансмиссии. При этом отпадает необходимость в промежуточном угловом редукторе, что также снижает массу.

Развитый по площади киль фенестрона позволяет в случае выхода из строя хвостовой трансмиссии или винта фенестрона осуществлять горизонтальный полёт и посадку вертолёт с небольшим углом скольжения [5].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шайдаков В. И.* Аэродинамическое проектирование фенестрона. Издательство МАИ. – Москва, 2003. – 234 с.
2. *Володко А. М.* Вертолет в Афганистане / А. М. Володко, В. А. Горшков. – М.: Воениздат 1993. – 216 с.
3. *Шайдаков В. И.* Расчетные параметрические исследования геометрии фенестрона на основе энергетического анализа / В. И. Шайдаков, О. А. Завалов // Вестник Московского авиационного института. – 2013. – Т. 20, № 5. – С. 7-16. – EDN RUVSHL.
4. *Макаренко В. Н.* Конструкция серийного летательного аппарата. Учебное пособие. / В. Н. Макаренко, С. Н. Салтыков, В. К. Харченко. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017.
5. *Башаров Е. А.* Конструкция втулок винтов вертолета. Учебное пособие / Е. А. Башаров, С. А. Ткаченко. – Москва: МАИ, 2019.



## К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ГИПЕРЗВУКОВЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Вайцель К. В., Уколов С. Д.

Галков А. В., канд. техн. наук  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** В статье представлены проекты и прототипы гиперзвуковых летательных аппаратов, перспективы их применения, даны их сравнительные характеристики. Обоснованы преимущества применения гиперзвуковых летательных аппаратов, а также проблемные вопросы при их создании.

**Ключевые слова:** гиперзвуковые летательные аппараты, гиперзвуковая летающая лаборатория, гиперзвуковая скорость, прямоточный воздушно-реактивный двигатель, околоземная орбита, озоновый слой атмосферы.

Извечная мечта человечества – «чтобы люди летали как птицы», в XXI веке сменилась на более соответствующую духу времени – «если бы самолёты летали как космические корабли». С каждым витком развития нового поколения авиационной и ракетной техники все больше ужесточаются требования, которые к ней предъявляются, и в свою очередь это обусловлено той важной ролью, которая отводится гражданской авиации [1]. Удовлетворение требований к перспективным проектируемым гиперзвуковым ЛА (ГЗЛА) возможно лишь в результате разработки новых компоновочных решений, силовых установок и бортовых систем. Залог успеха в создании новых образцов ЛА в значительной мере связан с совершенствованием аэродинамических компоновок и их элементов, и, в частности, нахождения компромиссных решений интеграции планера и силовой установки. В настоящее время – время жесткой конкурентной борьбы между ведущими авиационными корпорациями и фирмами, у нас и за рубежом ведутся работы по созданию перспективных проектов гиперзвуковых ЛА.

Гиперзвуковой летательный аппарат – ЛА способный осуществлять полёт в атмосфере с гиперзвуковой скоростью (большей или равной 5М) и маневрировать за счет использования аэродинамических сил.

Гиперзвуковые ЛА имеют ряд преимуществ:

– гиперзвуковой летательный аппарат способен взлетать с обычных аэродромов, осуществлять разгон в атмосфере и затем лететь на околоземной орбите со скоростью 10-15 тысяч километров в час. При такой скорости расстояние от Москвы до Вашингтона можно преодолеть за 1,5-2 часа;

- высота полёта достигается до 30-120 км;
- меньшая масса прямоточного воздушно-реактивного двигателя (ПВРД) по сравнению с ТРД. В ПВРД воздух в камеру сгорания нагнетается не компрессором, а за счёт набегающего потока. Такая схема имеет меньшую массу, поскольку отсутствует турбокомпрессор.

Рассмотрим некоторые проекты и образцы гиперзвуковых летательных аппаратов, разработанных российскими учеными (конструкторами) [2-5]:

1. Проект орбитального аппарата «Спираль» открыл историю практического создания авиационно-космических систем в России. Работы проводились в ОКБ имени Микояна. Это многоуровневая двухступенчатая система включает в себя гиперзвуковой самолёт-разгонщик и орбитальный самолёт с ракетным ускорителем. Взлётная масса всей системы составляла 115 тонн, одноместный орбитальный самолёт 10 тонн.

2. Проект Ту-2000, разработчик – ОКБ им. А.Н. Туполева. Тип – воздушно-космический самолет. Ту-2000А должен был стать экспериментальным ЛА, для проверки новых технологий. При взлетном весе 70-90 т он должен был развивать скорость до  $M=6$  на высоте 30 км. Прежде, чем работа была остановлена в 1992 году, были изготовлены: кессон крыла из никелевого сплава, элементы фюзеляжа, криогенные топливные баки и композитные топливопроводы. Ту-2000 должен был использовать турбо-прямоточные двигатели с переменным циклом, использующие метан или жидкий водород.

3. Проект МиГ-2000, разработчик – ОКБ им. А. Микояна. Тип – одноступенчатый воздушно-космический самолет (ОВКС). МиГ-2000 – беспилотный ОВКС, который должен был выводить полезную нагрузку до 9 тонн – на орбиту 200 км с наклоном  $51^\circ$ . После разгона ускорителем до  $M=0,8$ , прямоточный воздушно-реактивный двигатель (ПВРД) с дозвуковым горением обеспечивал дальнейший разгон до  $M=5$ . В качестве ракетного топлива должен был использоваться переохлажденный водород и жидкий кислород. При возвращении был возможен боковой маневр до 3000 км.

4. Гиперзвуковая летающая лаборатория (ГЛЛ) «Холод» для летных испытаний гиперзвукового прямоточного воздушно-реактивного двигателя (ГПВРД) создана на базе зенитной ракеты С-200, боевая часть которой была заменена двигательным модулем длиной 0,7 м, разработанным Центральным институтом авиационного моторостроения (ЦИАМ) им. П. И. Баранова. После запуска с передвижной пусковой установки ракета выходит на баллистическую траекторию полета, достигая чисел Маха  $M = 3,5 - 6,5$  на высотах 15 - 35 км. ГЛЛ «Холод» оснащена двухрежимным ПВРД, созданным для испытаний в условиях полета. 27 декабря 1991 г. на ней впервые в мире было проведено летное испытание водородного гиперзвукового ПВРД при скорости полета равной 1653 м/с, что в 5,6 раза превышает скорость звука. В течение последующих 7 лет было выполнено пять испытательных полетов.

5. «Кинжал» – российский гиперзвуковой авиационный ракетный комплекс. Как рассказывал русской службе Би-би-си военный эксперт,

главный редактор журнала «Арсенал Отечества» Виктор Мураховский, новая ракета является не крылатой, а «аэробаллистической», – траектория ракеты поддерживается за счёт высокой скорости. Истребитель МиГ-31, специально модернизированный для запуска этой ракеты, фактически служит её первой ступенью, производя пуск вне плотных слоев атмосферы на высотах от 12 до 15 тыс. метров. Полёт ракеты также происходит на границе стратосферы с целью избежать значительного сопротивления воздуха. Носителем данной ракеты может быть не только МиГ-31, но и такие самолеты, как Ту-22-М3, Ту-160, а также «Кинжал» может быть уменьшен для использования на самолете Су-57.

Максимальная дальность поражения комплекса:

- МиГ-31К – 2000 км;
- Ту-22М3 – более 3000 км.

Максимальная скорость «Кинжала» составляет от 10 до 12М (до 14688 км/ч), а его высота полета в момент достижения гиперзвуковой скорости равна 20 км.

6. Летающая лаборатория «Игла». На Макс-99 был впервые представлен макет летающей лаборатории «Игла», предназначенный для фундаментального изучения проблемы создания воздушно-космического самолета (ВКС) и высокоскоростных воздушно-реактивных двигателей (ВРД).

7. Модельный двигатель, разработанный институтом теоретической и прикладной механики (ИТМП). Впервые в мировой практике экспериментальных исследований ПВРД на модельном двигателе ИТПМ была получена избыточная тяга, под действием которой модель двигалась вперед, навстречу потоку, набегающему на неё в аэродинамической трубе.

8. Проект ракетного комплекса с гиперзвуковой крылатой ракетой «Циркон» морского базирования является новейшей разработкой российских конструкторов. «Циркон» – это гиперзвуковая крылатая ракета, которая может лететь со скоростью, предположительно в 8-10 раз превышающей скорость звука. При этом она может активно маневрировать на всем протяжении полета и особенно на конечном участке, когда происходит наведение на цель с помощью уникальной головки самонаведения, гарантирующей захват и последующее уничтожение намеченной цели. Уже первая модификация этой крылатой ракеты должна иметь дальность около 1000 км и скорость около 2 км в секунду, а впоследствии, предположительно, скорость «Циркона» должна возрасти, по утверждениям специалистов и конструкторов, до 3 км в секунду, а дальность – до 2000 км. Необходимо представлять, что при скоростях этой ракеты никакими средствами противовоздушной обороны она не может быть поражена.

Создание ГЗЛА потребует решения ряда сложных проблем, наиболее важными из которых являются:

- разработка эффективной в весовом отношении конструкции планера и силовой установки, способной противостоять аэродинамическому нагреву;

- создание комбинированной силовой установки, эффективно работающей в широком диапазоне высот и скоростей, или универсальной установки, работающей во всем эксплуатационном диапазоне высот и скоростей, от посадочных «нулевых» до крейсерских – гиперзвуковых;
- решение проблем звукового удара в полете;
- обеспечение норм по шуму на этапах взлета и посадки;
- снижение негативного воздействия на озоновый слой атмосферы.

Гиперзвуковые летательные аппараты, по мнению зарубежных и российских специалистов, станут наиболее перспективными образцами авиационно-космической техники третьего тысячелетия. Отличительными особенностями данных типов будут являться небольшие продолжительность полёта, время пребывания в зонах обнаружения и поражения средств противовоздушной обороны, малая уязвимость, достижение любой точки земного шара в течение 1-2 часов после взлёта, возможность боевого применения с любых направлений, в любых погодных условиях и независимо от времени суток.

По мнению ученых, Россия и США в освоении гиперзвуковых технологий движутся параллельными курсами. Российские специалисты говорят, что при оптимальном финансировании первые гиперзвуковые летательные аппараты могут появиться через 5-10 лет. Кто окажется быстрее, тот в будущем будет иметь превосходство в области военной и гражданской авиации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Машиностроение : энциклопедия : в 40 томах / ред. А. М. Матвеев ; ред. тома В. Г. Дмитриев. – Москва : Машиностроение, 2004. – Том IV-21. В 3 книгах. Самолеты и вертолеты. Книга 2. Проектирование, конструкции и системы самолетов и вертолетов. – 752 с.
2. Совместный выход на гиперзвук// [Электронный ресурс]. – 2020. URL: <http://www.aex.ru/fdocs/1/2009/4/15/14333/>(дата обращения: 01.12.2023)
3. Бычков В. В. Гиперзвуковое ракетное оружие будущего и российское противостояние западу / В. В. Бычков // Морской сборник. – 2020. – № 2(2075). – С. 73-78. – EDN PMXFQE.
4. Рычков В. М. Гиперзвуковая крылатая ракета «Циркон». Сборник статей по материалам межвузовской научно-практической конференции. – СПб.: ВИ (ВМ) ВУНЦ ВМФ «ВМА», 2021. – С. 146-151.
5. Бычков В. В. Взгляд на возникновение и развитие гиперзвукового оружия в развитых странах мира. Научно-методический сборник. Вып. 20. – СПб.: ВИ (ВМ) ВУНЦ ВМФ «ВМА», 2021. – С. 76-84.

## ИЗМЕНЕНИЕ РЕСУРСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ТОРМОЗНЫХ ПАРАШЮТОВ САМОЛЕТОВ ДАЛЬНЕЙ АВИАЦИИ

Вовк М. Р., Фофанов Н. А.

Воронцев В. А.  
(научный руководитель)

*ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского  
и Ю.А. Гагарина»  
(г. Воронеж)*

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы эксплуатации взлетно-посадочных устройств самолета. Проведен анализ факторов, влияющих на ресурсные показатели, и предложены мероприятия, позволяющие увеличить сроки эксплуатации тормозного парашюта, как важнейшего средства, обеспечивающего безопасность воздушного судна на заключительном этапе посадки.

**Ключевые слова:** взлетно-посадочные устройства, ресурс, тормозной парашют, арамидные ткани.

Надежность авиационной техники является одной из характеристик ее качества, которое представляет собой совокупность свойств, определяющих степень пригодности конкретного образца техники для использования по назначению.

Надежность закладывается при проектировании, обеспечивается в процессе производства и поддерживается в процессе эксплуатации.

Статистика отказов, являющаяся до настоящего времени основным источником информации для суждения о надежности изделий, – это сигнал обратной связи, дающий представление о том, насколько конструкция, технология производства и условия эксплуатации обеспечили желаемые показатели надежности. Одним из элементов конструкции воздушного судна, напрямую влияющим на его надежность, является тормозной парашют. Для сокращения длины пробега при посадке с большим весом или на ограниченную по длине взлетно-посадочную полосу (далее по тексту ВПП) на самолетах дальней авиации применяется парашютно-тормозная система, состоящая из двух крестообразных парашютов [1]. Контейнер с парашютами установлен в корме самолета снизу между двигателями. Замки выпуска и сброса работают на сжатом воздухе от пневмосистемы самолета и управляются с помощью кнопок на штурвалах летчиков. Парашютно-тормозная система состоит из контейнера, вытяжных и основных парашютов (включающих купол и стропы), механизмов открытия крышки, замковой системы и блока автоматики. После открытия створок контейнера в поток встречного ветра выпадает вытяжной парашют, который вытягивает основные парашюты. Купола парашютно-тормозной системы изготавливаются из капрона благодаря его высоким прочностным свойствам. Выпуск и отцепку парашютов производит летчик при помощи

дистанционной системы, обеспечивающей необходимую блокировку и последовательность операций. Применяются также автоматические системы введения парашютов, срабатывающие, как правило, после касания передней или основной опорами шасси самолета поверхности взлетно-посадочной полосы [2].

Проведем анализ материалов, не уступающих по прочностным свойствам капрону, и выберем оптимальный вариант из предложенных с целью увеличения надежности и срока эксплуатации тормозного парашюта.

Капроновую ткань парашютно-тормозной системе самолета можно заменить другими материалами, не уступающими ей по прочностным свойствам, это:

1. Полиэстеровая ткань.

Прочный и легкий материал, который обладает хорошей устойчивостью к растяжению и разрыву и может быть хорошей альтернативой капроновой ткани.

2. Арамидная ткань (кевлар).

Это очень прочный материал, который обладает высокой стойкостью к разрыву и высокой температурной стабильностью и может быть использован в качестве создания парашютной тормозной системы.

3. Арамидная ткань (Nomex).

Это материал с высокой степенью огнестойкости и химической стойкости. Он может быть использован в парашютно-тормозной системе.

Важно отметить, что замена капроновой ткани на другие материалы может потребовать изменений в конструкции и дизайне парашютной системы, а также проведения соответствующих испытаний и сертификации для обеспечения безопасности и надежности системы.

Для выбора оптимального материала для замены капрона мы сохраняем форму и дизайн парашютной системы, а также мы сохраняем его площадь и количество куполов. Рассчитаем и сравним массу различных тканей с целью возможности ее снижения и облегчения общей конструкции.

Парашютно-тормозная система состоит из двух парашютов общей площадью, равной 50 квадратным метрам. Для облегчения расчетов мы берем толщину каждого материала одинаковой и принимаем равной 0,01 см. Для расчета нам необходимо знать толщину, а также плотность рассматриваемых материалов.

Из открытых источников мы знаем, что плотность предлагаемых тканей будет равна:

- Полиэстеровая ткань – 1,3 г/см<sup>3</sup>;
- Арамидная ткань (кевлар) – 1,44 г/см<sup>3</sup>;
- Арамидная ткань (Nomex) – 1,4 г/см<sup>3</sup>;
- Капрон – 1,38 г/см<sup>3</sup>.

Для расчетов будем использовать формулы для расчета объема и, следовательно, массы.

объем:

$$V = S \cdot H$$

где  $S$  – площадь купола,  $H$  – толщина ткани.

масса:

$$P = V \cdot \rho$$

где  $V$  – объем полученный из первой формулы, плотность выбранного материала.

#### 1. Полиэстеровая ткань.

Для расчета 50 квадратных метров полиэстеровой ткани необходимо знать толщину и плотность. Предположив, что толщина ткани составляет 0,01 см и, зная плотность равную 1,3 г/см<sup>3</sup>, получаем:

объем:

$$500000 \cdot 0,01 = 5000 \text{ см}^3$$

масса:

$$5000 \cdot 1,3 = 6500 \text{ г.}$$

#### 2. Арамидная ткань (кевлар).

Для расчета 50 квадратных метров арамидной ткани (кевлара) необходимо знать толщину и плотность. Предположив, что толщина ткани составляет 0,01 см и, зная плотность равную 1,44 г/см<sup>3</sup>, получаем:

объем:

$$500000 \cdot 0,01 = 5000 \text{ см}^3$$

масса:

$$5000 \cdot 1,44 = 7200 \text{ г.}$$

#### 3. Арамидная ткань (Nomex).

Для расчета 50 квадратных метров арамидной ткани (Nomex) необходимо знать толщину и плотность. Предположив, что толщина ткани составляет 0,01 см и, зная плотность равную 1,4 г/см<sup>3</sup>, получаем:

объем:

$$500000 \cdot 0,01 = 5000 \text{ см}^3$$

масса:

$$5000 \cdot 1,4 = 7000 \text{ г.}$$

#### 4. Капроновая ткань.

Для расчета 50 квадратных метров капроновой ткани необходимо знать толщину и плотность. Предположив, что толщина ткани составляет 0,01 см и, зная плотность равную 1,38 г/см<sup>3</sup>, получаем:

объем:

$$500000 \cdot 0,01 = 5000 \text{ см}^3$$

масса:

$$5000 \cdot 1,38 = 6900 \text{ г.}$$

Получив данные значения, можно определить, что самой тяжелой тканью является арамидная ткань (кевлар) – 7200 г., а самой легкой из предложенных является полиэстеровая ткань – 6500 г., что в данном случае легче капрона на 400 г. Благодаря полученным расчетам мы можем сделать вывод, что в качестве замены капроновой ткани можно использовать полиэстеровую ткань.

Достоинствами полиэстеровой ткани являются:

1. Прочность.

Полиэстеровая ткань обладает высокой прочностью и износостойкостью, что делает ее долговечной.

2. Устойчивость к выгоранию.

Полиэстеровая ткань хорошо сохраняет свою яркость и цвет даже при длительной экспозиции на солнце.

3. Устойчивость к многим химическим веществам.

Полиэстеровая ткань не подвержена воздействию большинства химических веществ, что делает ее удобной для использования в различных сферах, также и при обработке различными химическими веществами.

4. Быстросохнущая.

Полиэстеровая ткань обладает хорошей влагоотводящей способностью и быстро сохнет после контакта с водой, что облегчает работу после применения.

5. Легкость ухода.

Полиэстеровая ткань не требует особых условий ухода за ней, что делает ее удобной для обслуживания и использования.

6. Низкая проницаемость воздуха.

7. Доступная цена.

Полиэстеровая ткань более доступна по цене, чем капроновая ткань.

Наряду с достоинствами, есть и недостатки, такие как:

1. Электростатическое зарядание.

Полиэстеровая ткань может накапливать статическое электричество.

2. Более низкая устойчивость к высоким температурам, чем у капрона.

Полиэстеровая ткань может плавиться или деформироваться при воздействии высокой температуры, поэтому требует осторожного обращения при сушке.

Достоинствами капроновой ткани являются:

1. Высокая прочность и износостойкость.

Капроновая ткань обладает хорошей устойчивостью к механическим нагрузкам и тяжело рвется или стирается.

2. Устойчивость к воздействию влаги и ультрафиолетовых лучей.

Капроновая ткань не впитывает влагу и быстро сохнет, а также не выгорает на солнце, что делает ее подходящей для использования на открытом воздухе.

3. Легкость и гибкость.

Капроновая ткань легкая и гибкая, что облегчает ее использование.

Наряду с достоинствами, есть и недостатки, такие как:



### 1. Склонность к усадке и деформации.

Капроновая ткань при неправильной эксплуатации может усаживаться или деформироваться, что может повлиять на ее качество и внешний вид.

### 2. Чувствительность к химическим веществам.

Капроновая ткань может подвергаться воздействию химических веществ, таких как кислоты и щелочи, что может привести к ее повреждению или изменению свойств.

### 3. Плохая чувствительность к огню.

Капроновая ткань легко и быстро горит, поэтому требует дополнительной обработки для повышения огнестойкости.

После проведенных расчетов и анализа можно сделать вывод, что капроновую ткань на тормозном парашюте можно заменить полиэстеровой тканью, так как эта ткань дешевле и легче, чем капроновая. По своим свойствам полиэстер не уступает по прочностным свойствам капроновой ткани и превосходит ее по описанным показателям, напрямую влияющим на ресурсные показатели применяемого тормозного парашюта.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Александров В. Г.* Справочник авиационного инженера / В. Г. Александров, В. В. Мырцымов [и др]. – М.: Издательство «Транспорт», 1973. – 400 с.
2. Руководство по технической эксплуатации самолета. Изделие 4503 (взлетно-посадочные устройства). Москва: Министерство обороны, 1985.

**УДК 629.7**

## **ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА»**

Ган В. А., Дорофеева М. А.

Шушарин В. А.  
(*научный руководитель*)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** Актуальность данной темы определяется тем, что система «человек-машина» представляет собой частный случай управляющих систем, в которых функционирование машины и деятельность человека связаны единым контуром регулирования. Важную роль в системе «человек-машина» играют потоки информации. Человек при этом может выступать в роли простого приемника информации, ретранслятора информации от одной подсистемы к другой, может осуществлять анализ и переработку информации. При организации взаимосвязи человека и машины в системе «человек-машина» основная роль принадлежит уже не столько анатомическим и физиологическим, сколько психологическим свойствам человека: восприятию, памяти, мышлению, вниманию и так далее. От психологических свойств человека во многом зависит его информационное взаимодействие с машиной.

**Ключевые слова:** система «человек-машина», безопасность, производство, психология, авиация.

До конца 20 века в отечественной психологической науке вопросы, связанные с психологией безопасности, в основном составляли один раздел психологии труда и ограничивались только проблемами труда в производстве и сельском хозяйстве. Отечественный психолог М. А. Котик дает следующее определение психологии безопасности: «психология безопасности – это отрасль психологической науки, изучающая психологические причины несчастных случаев, возникающих в процессе труда и других видов деятельности, и пути использования психологии для повышения безопасности деятельности» [2].

Для того, чтобы обеспечивать безопасность в процессе трудовой деятельности, повсеместно применяются результаты таких наук, как психология труда приборов с учетом психических свойств человека, а также психология безопасности. Предметом изучения второй науки являются психические процессы, состояния и свойства человека, которые оказывают существенное влияние на безопасную деятельность людей.

Безопасность – это состояние человека, при котором ему не угрожает опасность, есть защита от опасности, а также состояние деятельности, при котором с определенной вероятностью исключаются потенциальные опасности. Для реализации состояния безопасности необходимо учитывать всю совокупность опасностей, действующих на объект защиты. Условия безопасности – это условия, в которых находится объект, а действие внешних и внутренних факторов не влечет последствий, считающихся отрицательными по отношению к данному объекту в соответствии с существующими на данном этапе потребностями, знаниями и представлениями.

Научно-техническая революция привела к значительному изменению условий, средств и характера трудовой деятельности человека. В современном производстве, на транспорте, в системах связи, в строительстве и сельском хозяйстве все шире применяются автоматы и вычислительная техника; происходит автоматизация многих производственных процессов.

Благодаря техническому перевооружению производства существенно изменяются функции и роль человека. Многие операции, которые раньше были его задачей, сейчас начинают выполнять машины. Однако, каких бы успехов ни достигала техника, труд был и остается достоянием человека, а машины, как бы сложны они ни были, являются лишь орудиями его труда. В процессе труда человек, используя машины как орудия труда, осуществляет сознательно поставленные им цели.

Следовательно, с развитием и усложнением техники возрастает значение человеческого фактора на производстве. Необходимость изучения этого фактора и учета его при разработке новой техники и технологических процессов, при организации производства и эксплуатации оборудования становится все более очевидной. От успешности решения этой задачи зависит эффективность и надежность эксплуатации создаваемой техники, функционирование технических устройств и деятельность человека, который пользуется этими устройствами в процессе труда, должны рассматриваться во взаимосвязи. Эта точка зрения привела к формированию понятия системы «человек-машина» (СЧМ) [4].

Система «человек-машина» состоит из человека-оператора (или группы операторов) и машины, посредством которой он (они) осуществляет (ют) трудовую деятельность, связанную с производством материальных ценностей, управлением, обработкой информации и т. д. Основу трудовой деятельности человека в системе «человек-машина» составляет его взаимодействие (в соответствии с получаемой информацией) с предметом труда (объектом управления) и машиной через посредство органов управления [1].

Как бы не были сложны машины, они остаются лишь орудиями труда. Функции человека в СЧМ можно разделить на два больших класса: первый – прием и переработка информации; второй – управление машиной. На рис. 1 показана обобщенная схема построения СЧМ.

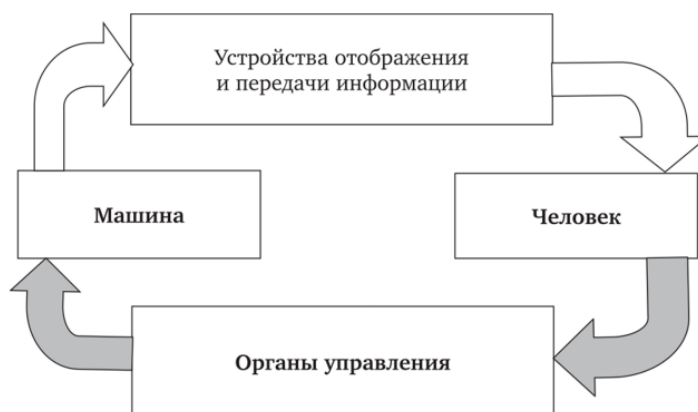


Рисунок 1 – Схема системы «человек-машина»

Существующая потребность в безопасности требует осуществления специальной деятельности, в рамках которой проводят детальный анализ конкретной производственной деятельности, выявляют присущие ей опасности и разрабатывают эффективные меры защиты человека.

Меры защиты необходимы для снижения уровня заболеваемости, травматизма и смертности, поскольку обеспечить абсолютную безопасность деятельности невозможно. Под защищенностью обычно понимают способность объекта избежать неблагоприятного воздействия опасного явления и/или не изменять свое состояние в результате данного воздействия [3].

Для повышения эффективности системы «человек-машина» необходимо предусмотреть возможность адаптации как внутри самой системы, так и по отношению к внешней среде. До недавнего времени свойство адаптации систем «человек-машина» реализовалось благодаря приспособительным возможностям человека, гибкости и пластичности его поведения, возможности его изменения в зависимости от конкретной обстановки. В настоящее время разрабатываются системы «человек-машина», в которых свойство адаптации реализуется путем соответствующего программно-технического обеспечения. Речь идет о создании таких технических средств, которые могут изменять свои параметры и условия деятельности в зависимости от текущего конкретного психофизиологического состояния человека и показателей эффективности его деятельности.

Надежность системы «человек-машина» – совокупная характеристика техники и обслуживающих ее людей, обеспечивающая функционирование этой системы в рамках установленных для нее требований, безотказность и восстанавливаемость технических средств, их периодическую профилактику, безошибочность действий оператора, его медико-биологическую надежность, удовлетворение потребности в отдыхе, возможность восстановления работоспособности, готовность технических средств и операторов к работе. В качестве общего показателя надежности системы «человек-машина» может использоваться вероятность своевременного безошибочного и безотказного применения (функционирования) антропотехнической системы. Надежность системы «человек-машина» зависит от условий и режимов работы людей, выполняемых ими функций, конструкции, режимов, а также особенностей функционирования технических средств.

Учет инженерно-психологических требований необходим для обеспечения рационального распределения функций в системе «человек-машина»: организации рабочего места; соответствия технических средств возможностям человека по приему и переработке информации и осуществлению управляющих воздействий, оптимальных для работоспособности человека.

Конфликты в СЧМ приводят к целому ряду нежелательных для оператора явлений: падение работоспособности и ухудшение функционального состояния организма, а в случаях их длительного и частого повторения – к возникновению профессиональных заболеваний. Поэтому важной задачей инженерной психологии является разработка способов предотвращения возможных конфликтов и их разрешения в случае, если они все же возникли.

Основной путь решения этой задачи состоит в максимально возможном приспособлении техники к человеку путем учета его возможностей при создании и эксплуатации техники и в приспособлении человека к технике за счет профессионального отбора, обучения и тренировок. Иными словами, речь идет о *взаимной адаптации человека и техники в СЧМ*. Причем именно взаимной, поскольку только приспособление техники к человеку или наоборот, человека к технике изолированно одно от другого проблему не решит.

Однако в ряде случаев (особенно в непредвиденных ситуациях) конфликта в СЧМ полностью избежать не удастся. Тогда возникает задача минимизировать его возможные последствия. Один из возможных путей решения этой задачи – *подсказка (совет) оператору*, то есть представление ему организованной специальным образом дополнительной информации, помогающей оператору в процессе принятия решения или при осуществлении управляющих воздействий. Подсказка может осуществляться как при выполнении оператором реальной деятельности, особенно в необычных, сложных или стрессовых ситуациях, так и при обучении операторов.

Подсказка в реальной деятельности может даваться визуальным путем, например, засвечиванием транспарантов: «выключи двигатель», «проверь правильность набора информации», «повтори передачу» и так далее. Однако такой вид подсказки не всегда эффективен, так как (особенно в стрессовой

ситуации) зрительный анализатор человека может быть перегружен, и он просто окажется не в состоянии обнаружить подсказку. Кроме того, время реакции на нее больше, чем на сигнал, подаваемый голосом.

Особенно важно соблюдение условия, чтобы этот сигнал был привычным для оператора, только тогда он будет правильно воспринят и реализован. Два интересных примера в этом отношении приводит А.Н. Ефимов. В одной из систем управления военными самолетами была введена система подсказок летчику, попавшему в неожиданные, «нестандартные» ситуации. Эта система подсказок была записана женским голосом на магнитофон, и необходимая подсказка в нужный момент передавалась на борт. Один из летчиков, не зная об этом, попав в критическую ситуацию, отказался выполнить поступившие с земли команды, поскольку появление женщины в системе управления (а команда подавалась женским голосом) было несовместимо с его опытом и не укладывалось в его сознании. Конфликт не был разрешен.

Другой пример, но противоположного плана. В 20-е годы на Неве проводились очень важные такелажные работы, при выполнении которых такелажникам в строго определенное время (с точностью до нескольких секунд) руководителем работы должна была быть подана команда «рубите концы». На обоих берегах Невы собралось много зрителей, в том числе и ленинградское начальство. По какой-то причине руководитель работ замешкался, ситуация грозила выйти из-под контроля и могла привести к крупной аварии. Тогда находящийся здесь известный ученый, академик, адмирал Крылов схватил мегафон и, не стесняясь крепких выражений, подал такелажникам нужную команду. Ситуация была спасена. Крылова благодарили за находчивость, но упрекнули в использовании нецензурных выражений, которые были слышны довольно далеко от места событий. На это адмирал ответил, что такелажники – народ особый, они привыкли слушать только своего боцмана, поэтому он вынужден был подать команду боцманским голосом, иначе такелажники могли бы ее попросту не воспринять. В данном же случае команда (подсказка) была подана в психологически привычном для исполнителей стиле.

Важное значение для разрешения возможных конфликтов имеет формирование у человека психологической защиты. Суть ее состоит в том, что у человека по мере накопления опыта, обучения, тренировки и т. п. формируется система, выполняющая роль ограждения сознания от информации, которая может разрушить его внутреннее равновесие, опирающееся на сложившуюся у него картину мира (для оператора, в частности, сложившееся у него представление о характере протекания управляемого процесса). Эта система выполняет роль защитных психологических барьеров и может рассматриваться как особая форма переработки травмирующей информации. За счет этого она выступает как система стабилизации личности, проявляющаяся в устранении или сведении к минимуму отрицательных эмоций, когда есть опасность возникновения чувства тревоги, дискомфорта, опасности и т. п. Получив неприятную (излишнюю, аварийную, требующую быстрого реагирования) информацию, с которой оператор не в состоянии справиться, он может умалить ее значимость, изменить (уменьшить) уровень своих притязаний (вслед за

осознанием невозможности их реализации), исключить из рассмотрения сигналы, связанные с действиями, которые он не может выполнить.

Примерами таких действий является *селекция информации в условиях ее избытка*, а также *эмоциональное выгорание*. Под ним понимается выработанный личностью механизм психологической защиты в форме полного или частичного подавления эмоций в ответ на избранные психотравмирующие воздействия (например, не обращать внимание на неудобную рабочую позу). Эмоциональное выгорание представляет собой приобретенный стереотип эмоционального, чаще всего профессионального поведения. Эмоциональное выгорание – отчасти функциональный стереотип, поскольку позволяет человеку дозировать и экономно расходовать энергетические ресурсы.

Психологическая защита может проявляться в виде *защитных реакций или в виде защитного поведения*. В совокупности они образуют защитные механизмы психики, которые могут совершенствоваться и развиваться в процессе психологической подготовки оператора. При ее организации и проведении следует иметь в виду, что информация, представляющая для оператора опасность (в том числе и препятствующая нормальному выполнению деятельности), в разной мере нарушая его представления о норме и благополучии, проходит через психологические барьеры неодинаково. Наиболее опасная отклоняется уже на уровне восприятия, менее опасная – воспринимается, а затем частично трансформируется. Чем меньше поступающая информация грозит нарушить деятельность оператора, тем глубже она продвигается от чувственного (сенсорного) входа к двигательному выходу и тем меньше она видоизменяется на этом пути.

В общем случае психологическая защита и построенные на ее основе защитные механизмы имеют положительное значение для деятельности оператора, являются важным средством разрешения конфликтов. Однако в ряде случаев под влиянием защиты поведение человека может становиться нелепым, у него проявляются причудливые объяснения и неадекватный прогноз своих действий. Известны случаи, когда чрезмерная защита нарушала деятельность человека, вплоть до ее полной дезорганизации и неспособности выполнять работу. Однако с помощью ряда приемов человек может изменить, скорректировать свою иерархию ценностей, упорядочить поведение в соответствии с измененной шкалой. Иными словами, он может не допустить, чтобы ему изменяла его обычная логика, минимизировать вторжение психологической защиты, трансформирующей способы анализа собственных мотивов и поступков. Это явление называется *преодолением психологической защиты*. Ему, как и выработке способов формирования защитных механизмов, следует уделять определенное внимание в процессе психологической подготовки операторов.

Рассмотренные способы психологической защиты и ее преодоление являются преимущественно пассивными методами разрешения конфликтов. Они направлены на уход от конфликта, его предотвращение за счет ограничения травмирующей информации путем ее селекции, избегания, ограничения, нереагирования и т. п. Однако такие подходы не всегда возможны и поэтому

могут не давать нужных результатов. В этих случаях приходится применять активные способы разрешения конфликтов, которые базируются на правильном и своевременном принятии решения оператором по выходу из конфликтной ситуации.

Из всего вышесказанного следует, что от психологических свойств человека во многом зависит его информационное взаимодействие с машиной. В системе «человек-машина» оператору постоянно требуются сведения о текущем состоянии и изменениях во внешней и внутренней среде для оценки этой информации и принятия решений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вологодская областная универсальная научная библиотека: сайт / Научная электронная библиотека. – 2023. – URL: <https://www.booksite.ru/> (дата обращения: 29.11.2023)
2. *Корниенко Н. А.* Психология безопасности труда: учебно-методическое пособие / Н. А. Корниенко. Новосибирский государственный аграрный университет, 2019. – 91 с.
3. *Куликова Е. А.* Риск-менеджмент: учебное пособие / Е. А. Куликова. УрГУПС, 2014. – 259 с.
4. Библиофонд: сайт / Электронная библиотека студентов. – 2003. – URL: <https://www.bibliofond.ru/> (дата обращения: 29.11.2023)

УДК 629.73

## РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И МАТЕРИАЛОВ В ЦЕЛЯХ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЯ ЛОПАТОК АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ганеев Е. С., Перепелица М. А., Черных К. А.

Пелих Е. Г.  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** Проведен анализ развития жаропрочных сплавов и технологий для изготовления лопаток газотурбинного авиационного двигателя. Рассмотрена цель новых исследований и разработок, повышающих надежность и долговечность двигателей, влияющих на снижение их веса, уменьшение расхода топлива и уровень вредных выбросов.

**Ключевые слова:** авиационная лопатка, жаропрочные никелевые сплавы, направленная кристаллизация.

За период развития реактивной авиации было создано пять поколений авиационных газотурбинных двигателей со значительными улучшениями их характеристик. Создание современных двигателей в условиях постоянного ужесточения требований к их экономичности, массогабаритным показателям, надежности, диапазону эксплуатационных режимов требует разработки и

внедрения новых передовых технологий, материалов и конструкторских решений. Именно использование передовых технологий во многом определяет соответствие двигателя международным стандартам и его востребованность на рынке.

Основная деталь турбореактивного двигателя – это лопатка. Каждая лопатка газотурбинного двигателя (ГТД) является результатом наиболее совершенных технологий и одной из самых сложных для производства деталей двигателя. Лопатки имеют специальную форму, которая позволяет им эффективно взаимодействовать с потоком газов, создаваемым двигателем. Они играют ключевую роль в преобразовании тепловой энергии сгорающего топлива в механическую энергию вращения турбины. Во время работы двигателя лопатки турбины находятся в потоке газов, температура которых может достигать 1500-2000 градусов Цельсия. При этом они должны сохранять свою форму и прочность, чтобы обеспечивать эффективное преобразование тепловой энергии в механическую. Кроме того, лопатки турбины испытывают значительные механические нагрузки, возникающие из-за вибрации двигателя, аэродинамических сил и других факторов. Они также должны выдерживать удары частиц износа, которые могут попадать в двигатель вместе с топливом и воздухом. Коррозионная стойкость лопаток также является важным фактором, так как они могут подвергаться воздействию агрессивных сред, таких как продукты сгорания топлива и атмосферные загрязнения. Наконец, лопатки должны быть легкими и прочными, чтобы минимизировать вес двигателя и повысить его эффективность. Для этого используются специальные материалы и технологии производства.

Первые жаропрочные сплавы для газотурбинных двигателей появились в Германии в 1936-1938 гг. благодаря разработкам компании Крупп. Одним из таких сплавов была высоколегированная аустенитная сталь под названием Тинидур, предназначенная для изготовления рабочих лопаток турбин, работающих при температурах от 600 до 700 градусов Цельсия.

Еще до начала Великой Отечественной войны Архип Люлька создал первый в СССР технический проект авиационного турбореактивного двигателя РД-1. Но разработка этого проекта была приостановлена в связи с отсутствием материалов, способных длительное время работать при температурах около 1000<sup>0</sup>С и высоких напряжениях [1].

В 1942 г. в Великобритании был разработан жаропрочный сплав под названием нимоник-80 – первый в серии дисперсионно-твердеющих жаропрочных никелевых сплавов с хромом. Сплав был создан сэром Уильямом Гриффитсом, который случайно обнаружил его, работая над созданием нагревателей из сплавов никеля и хрома. В результате попавшей примеси алюминия и титана, один из образцов сплава показал высокие показатели жаропрочности. В СССР была поставлена задача разработать сплав лучше английского. Чтобы получить образцы материала, из которого англичане изготавливают лопатки, металлург Сергей Кишкин в 1947 в составе советской делегации посетив цех по механической обработке лопаток, прошел в ботинках с пористой подошвой, в которую попали стружки, и таким образом вынес образец искомого состава [2].

Так одним из первых рабочих материалов для лопаток был определен жаропрочный никелевый сплав.



Позднее академик Сергей Тимофеевич Кишкин подтвердил теоретическую значимость титана и алюминия как основных легирующих элементов, которые образуют упрочняющую  $\gamma'$ -фазу и способствуют высокой жаропрочности сплава. Нимоник-80 стал первым в ряду последующих модификаций жаропрочных материалов. В СССР аналогом этого сплава является ХН77ТЮ.

Лопатки из первых жаропрочных сплавов могли длительно работать при температуре газа не более  $800^{\circ}\text{C}$ , чтобы повысить рабочую температуру материала в него добавляли специальные элементы – вольфрам, молибден и ниобий, но они делали сплав настолько твердым, что применяемые технологии штамповки иковки становились неэффективными, тогда Кишкин С. Т. предложил лопатки отливать.

После проведения испытаний практически все авиационные турбореактивные двигатели начали производить с литыми турбинными лопатками. Процесс изготовления лопатки следующий. Во-первых, формируется никелевый сплав с определенными характеристиками по механической прочности и жаропрочности. Затем, этот сплав заливается в форму и остывает вместе с ней. Остывающий металл кристаллизуется, образуя отдельные равноосные зерна. Первые литые лопатки обладали зернами различных размеров: как крупными, так и мелкими. Из-за этого сцепление между ними было ненадежным, и в процессе работы лопаток происходило их разрушение по границам зерен. В результате ни одна лопатка не могла работать дольше 50 часов.

Для решения этой проблемы было предложено ввести в сплав для литья модификаторы – кристаллики алюмината кобальта, которые являются центрами, зародышами кристаллизации и, ускоряя процесс образования зерен, делают их однородными и более мелкими. Благодаря этому нововведению новые лопатки стали работать по 500 часов. Эта технология успешно применяется и по сей день [3].

Последующие исследования, проводимые ВИАМ, позволили сделать вывод о возможности повышения длительной прочности путем исключения из структуры литейного жаропрочного сплава, «слабого звена» – поперечных границ зерен, при котором при высоких температурах и длительном воздействии нагрузок происходит разрушение материала путем отрыва, а не вязкого разрушения [4], и тем самым была обоснована необходимость формирования структуры в лопатках жаропрочных сплавов с границами зерен, параллельными направлению оси главных напряжений.

Прогрессивный процесс получения литых охлаждаемых лопаток из новых жаропрочных сплавов позволил превзойти лучшие достижения США по температуре газа в газотурбинных двигателях на  $50^{\circ}\text{C}$ , Англии – на  $80^{\circ}\text{C}$  [4].

В настоящее время самой совершенной в мире считается технология производства лопатки путем направленной кристаллизации в сочетании с эффективной системой охлаждения. Эту задачу удалось решить, скомпоновав каналы в теле лопатки и выходные отверстия из нее так, чтобы вокруг лопатки возникала тонкая воздушная пленка. При этом раскаленные газы с материалом лопатки не соприкасаются, а, следовательно, и не нагревают ее и сами не охлаждаются.

Для производства лопатки методом литья, сначала из воска вылепляют модель, внутрь которой помещают термостойкие керамические стержни, чтобы внутри лопатки создать отверстия. Модель покрывают жидкой керамической массой. После ее высыхания воск вытапливают горячей водой, а керамическую массу обжигают. Получается форма, выдерживающая температуру расплавленного металла от 1450 до 1500°С, в нее заливают сплав. При этом форма с жидким металлом стоит на массивном медном диске, охлаждаемом водой. Чтобы кристаллы, образующие лопатку, росли должным образом, форму с расплавленным металлом медленно вынимают из зоны нагрева. Рост кристаллов начинается снизу и идет вверх со скоростью, практически равной скорости выхода формы из нагревателя. При соблюдении всех условий вырастают 5-7 длинных столбчатых кристаллов на каждый квадратный сантиметр сечения лопатки. Керамические стержни удаляют. Эта технология позволила создать новое поколение авиационных двигателей. Но наука пошла еще дальше. Процесс литья по современным технологиям проводится особым образом. Металл должен застыть так, чтобы образовался один неделимый кристалл. Тогда лопатка будет сверхпрочной. Для этого сделали затравку, которая позволяет только одному кристаллу расти в заданном направлении (кристаллографическая формула такой затравки 0-0-1; это означает, что в направлении оси Z кристалл растет, а в направлении X-Y - нет). Чтобы вырастить монокристалл, форму с расплавленным составом погружают в другой расплавленный металл, за счет этого кристаллизация идет в заданном направлении. Вырастающий монокристалл приобретает форму лопатки. Предложенный технологический процесс – высокоградиентная направленная кристаллизация литых лопаток ГТД с монокристаллической структурой, по мнению зарубежных экспертов, в 30 раз эффективнее лучших известных технологических процессов [4, 5].

Технологии производства лопаток постоянно совершенствуются. Сегодня для изготовления лопатки используют дорогостоящее оборудование и сплавы – по своему химическому составу являющиеся наиболее сложными из всех существующих сплавов конструкционного назначения. Жаростойкие никелевые сплавы (ЖНС) первого поколения содержат традиционные легирующие элементы, такие как Al, Ni, Cr, V, W, Ta, Nb, Gf. В состав ЖНС второго и третьего поколений вводят легирующий элемент Re (рений), сплавы четвертого и пятого поколения дополнительно легируют Ru (рутением) [6, 7].

В результате, максимальная температура газа перед турбиной увеличилась с 1300К в двигателях третьего поколения до 1800-1950К в двигателях пятого поколения. Для двигателей пятого и шестого поколений рабочая температура должна доходить до 1150°С. Магистральным направлением развития является получение жаропрочных сплавов, содержащих рений и рутений. В перспективе необходим переход на сплавы ниобия с кремнием [6, 8].

Из графиков (Рис. 1) видно, какое влияние конструкция и материалы лопатки оказывают на возможность повышения температуры газа перед турбиной: на 70% эффективность работы лопатки зависит от конструкции, а на 30% – от материала и технологии [6].

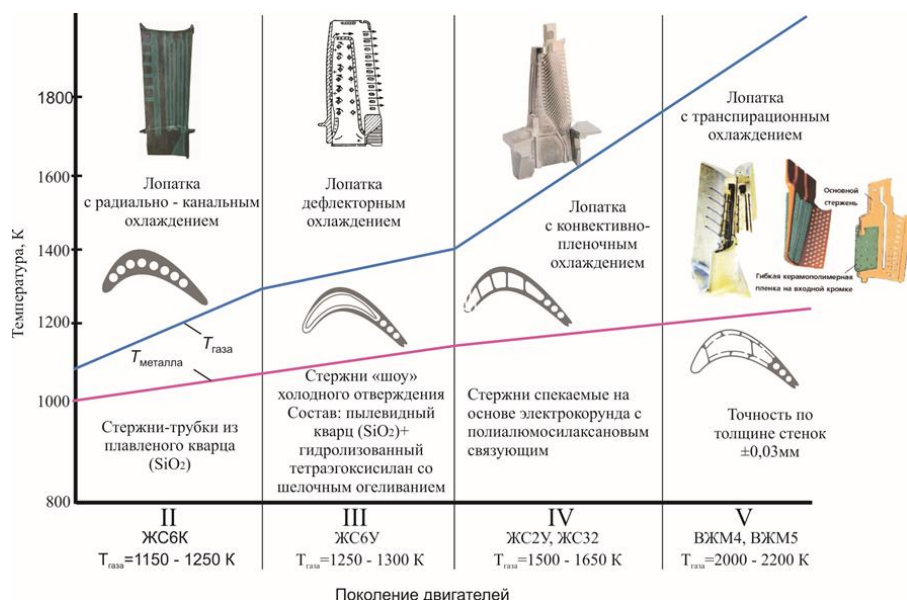


Рисунок 1 – Зависимость температуры газа перед турбиной от конструкции и материала лопаток

Для деталей горячего тракта двигателей, в том числе для монокристаллических лопаток турбины, предполагается использование теплозащитных покрытий (ТЗП), содержащих жаростойкий связующий слой и внешний керамический слой с низким коэффициентом теплопроводности [9, 10].

При тепловых потоках, протекающих через стенку лопатки работающего ГТД, в керамическом слое толщиной 100 мкм имеет место тепловой перепад на уровне  $80-100^{\circ}C$ , что позволяет снизить на эту величину температуру на поверхности монокристаллической лопатки. Для ГТД гражданского назначения такой перепад позволяет более чем в 2 раза повысить ресурс лопаток турбины. В керамике нанесенной на поверхность лопатки имеются микротрещины, благодаря которым предотвращается макрорастрескивание в результате теплового расширения металла (Рис. 2) [9, 10].

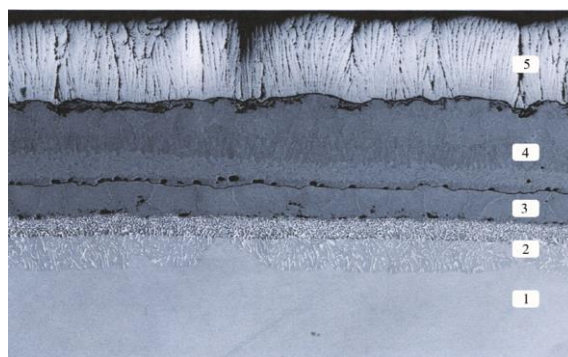


Рисунок 2 – Микроструктура комплексного покрытия для защиты жаропрочных никелевых сплавов (ЖНС) от высокотемпературной газовой коррозии:

- 1 – лопатка (ЖНС), 2 – основа для жаростойких покрытий Ni-Cr-Al,
- 3 – жаростойкое покрытие, 4 – переходный слой, 5 – керамическое покрытие

Цель новых исследований и разработок – повышение надежности и долговечности двигателей, снижение их веса, уменьшение расхода топлива и уровня выбросов оксидов азота. В настоящее время уже используются некоторые технические решения, основанные на применении нанотехнологий в авиационных газотурбинных двигателях и ракетных двигателях. В качестве альтернативы никелевым сплавам рассматривают легкие и высокоогнеупорные материалы, такие как керамические композиты (включая нанокompозиты), эвтектическую керамику и высокотемпературные интерметаллиды. В перспективе возможно использование керамических композитов в гиперзвуковых двигателях и ракетной технике.

Для решения проблемы повышения мощности двигателей типа ПД-14, конструкторы рассматривают возможность использования высокотемпературных жаропрочных литейных сплавов на основе алюминидов никеля. Эти сплавы отличаются уникальной кристаллической решеткой и упорядоченной структурой, которая сохраняется до температуры плавления и обеспечивает удовлетворительный уровень физико-механических свойств алюминида титана. Лопатка турбины низкого давления авиационного двигателя из этого сплава в 2 раза легче, чем используемый сегодня аналог на основе никеля.

Сегодня при изготовлении лопаток вентилятора применяется такой металл как титан и полимерные композитные материалы. Например, для перспективного двигателя ПД-35, предназначенного для транспортной и широкофюзеляжной пассажирской авиации, в пермском КБ «Авиадвигатель» разработана лопатка вентилятора из композитных полимерных материалов. Диаметр вентилятора ПД-35 – более 3 метров. Переход от титановых лопаток к полимерным позволит снизить массу двигателя на 400 [11].

В Рыбинске в «ОДК-Сатурн» были внедрены уникальные технологии для производства лопаток компрессора: устройство для закрутки высокоточных титановых лопаток и гибридная штамповка лопаток из двухфазного титанового сплава [11].

Расширение ассортимента лопаток, различных по материалам, производственным технологиям и назначению, подтверждает высочайший уровень компетенций российских специалистов в области двигателестроения. Были достигнуты значительные успехи, и впереди еще много работы по оснащению новых российских самолетов двигателями, появление которых критично важно в условиях введенных санкций.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новые российские технологии изготовления лопаток авиадвигателей/ Вечные двигатели Архипа Люльки // [Электронный ресурс]. – 2019. URL: <https://rostec.ru/news/vechnye-dvigateli-arkhipa-lyulki/> (дата обращения: 12.10.2023).
2. Демонис И. Во все лопатки // Журнал «Наука и жизнь». – 2007 – №6.
3. Жаропрочные сплавы: Буклет / Сост.: Б. С. Ломберг, С. А. Мубояджян, В. А. Калицев и др.; под ред. Е. Н. Каблова. – М.: ВНИИАМ, б.г. – 58 с.; илл.
4. Каблов Е. Н. Специальность - металл для авиации. К 100-летию со дня рождения

академика С. Т. Кишкина // Журнал «Вестник Российской академии наук». – 2006. – Т. 76, №6.

5. Влияние условий направленной кристаллизации на структуру деталей типа лопатки ГТД / Ю. А. Бондаренко, А. Б. Ечин, В. А. Сурова, А. Р. Нарский // Литейное производство. – 2012. – № 7. – С. 14-16. – EDN PAIYVV.

6. Каблов Е. Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники. доклад АКАДЕМИКА Е.Н. Каблова / Е. Н. Каблов // Вестник Российской академии наук. – 2012. – Т. 82, № 6. – С. 520-530. – EDN OYQJHJ.

7. Петрушин Н. В. Литейные жаропрочные никелевые сплавы / Н. В. Петрушин, И. Л. Светлов, О. Г. Оспенникова // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2012. – № 5. – С. 15-19. – EDN PAKUOP.

8. Федотов А. Лопатки для двигателя пятого поколения / А. Федотов // Российские нанотехнологии. – 2009. – Т. 4, № 9-10. – С. 16-18. – EDN KVBPKR.

9. Чубаров Д. А. Новые керамические материалы для теплозащитных покрытий рабочих лопаток ГТД / Д. А. Чубаров, П. В. Матвеев // Авиационные материалы и технологии. – 2013. – № 4(29). – С. 43-46. – EDN PMEXUM.

10. Высокотемпературные жаростойкие покрытия и жаростойкие слои для теплозащитных покрытий / С. А. Мубояджян, С. А. Будиновский, А. М. Гаямов, П. В. Матвеев // Авиационные материалы и технологии. – 2013. – № 1(26). – С. 17-20. – EDN PUOXXJ.

11. Во все лопатки: новые технологии изготовления лопаток авиадвигателей – 2022. URL: <https://rostec.ru/> (дата обращения: 12.11.2023)

**УДК 629.7**

## **ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ТВ2-117АГ И ARRIEL 1**

Герклец Н. С.

Мельников С. Н.  
(научный руководитель)

*Омский летно-технический колледж гражданской авиации имени А. В. Ляпидевского – филиал ФГБОУ ВО «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева»  
(г. Омск)*

**Аннотация.** Приводится анализ противообледенительной системы авиационного двигателя как важного компонента для предотвращения накоплений и образования льда на поверхности двигателя во время полета в условиях низких температур. Это является неотъемлемой частью безопасности воздушных перевозок, так как накопление льда на двигателе может привести к его повреждению и потере контроля над воздушным судном. Мы рассмотрели как достоинства, так и недостатки противообледенительной системы авиационных двигателей.

**Ключевые слова:** Противообледенительная система, авиационные двигатели, применение противообледенительной системы, безопасность полетов, анализ.

Одним из важнейших достоинств противообледенительной системы является способность предотвращать накопление льда на двигателе, что в свою очередь обеспечивает непрерывную работу двигателя в холодных погодных условиях. Это не только позволяет пилотам сохранять полный контроль над самолетом, но и обеспечивает безопасность пассажиров и экипажа. Другим значимым достоинством противообледенительной системы является ее способность быстро и эффективно освобождать двигатель от существующего льда, вводя различные тепловые или механические методы. Для наглядного примера сравним двигатели ТВ2-117АГ и ARRIEL 1.

Рассмотрим основные аспекты противообледенительной системы двигателя ТВ2-117АГ. При включении противообледенительной системы (ПОС) подается питание на электромеханизмы крана и противообледенительного клапана. При открытии крана и клапана горячий воздух, забираемый из компрессора, по трубопроводам поступает в коллектор воздухозаборника и к горизонтальным стойкам корпуса передней опоры ротора компрессора. При начавшемся обледенении управляющий сигнал датчика РИО-3 замыкает цепь лампы табло «Включи противообледенительную систему». Одновременно включается электронагревательный элемент сигнализатора для удаления льда с его поверхности. Сигнал также через систему реле включает ПОС правого двигателя, при этом загорается табло «Обогрев входа в двиг. включен» и «Обогрев двиг. работает». ПОС левого двигателя включается пилотом вручную и остается включенной даже после выхода вертолета из зоны обледенения и прекращения работы сигнального табло «Включи противообледенительную систему». Выключается система вручную нажатием кнопки «Выкл. противообл». В отдельных случаях (например, при проверке исправности системы, отказ автоматического управления) противообледенительную систему двигателей можно включить вручную совместно для обоих двигателей вертолета или отдельно для каждого двигателя. Включение системы обогрева неблагоприятно сказывается на мощности и экономичности двигателя. Так, при включении системы обогрева вследствие значительного отбора воздуха от двигателя мощность его уменьшается примерно на 4,5%, а удельный расход топлива увеличивается на 5%. При одновременном включении обогрева обоих двигателей вертолета значительно уменьшается мощность, передаваемая несущему винту, что может привести к резкому уменьшению тяги винта и потере вертолетом высоты.

У двигателя ТВ2-117АГ от возможного обледенения защищены воздухозаборник, стойки первой опоры двигателя, кок и лопатки ВНА.

Противообледенительное устройство воздухозаборника состоит из коллектора, трубопроводов подвода горячего воздуха и переключателя (крана) с электромеханизмом (см. рис. 1). Коллектор представляет собой полое кольцо из трубы, в стенках которой выполнены отверстия для выхода горячего воздуха. Электромеханический переключатель воздуха предназначен для перекрытия проходного сечения воздухопровода подачи горячего воздуха. Противообледенительное устройство двигателя (стоек опоры, кока, лопаток ВНА) состоит из трубы, противообледенительного клапана, двух труб подвода горячего воздуха в корпус передней опоры ротора компрессора, системы каналов и отверстий

для прохода горячего воздуха в обогреваемых деталях (см. рис. 2). Управляет работой противообледенительного клапана электромеханизм. Включение электромеханизмов крана и противообледенительного клапана на открытие подачи горячего воздуха на обогрев производится: для правого двигателя автоматически или вручную от переключателя на панели ПОС, а для левого – только вручную.

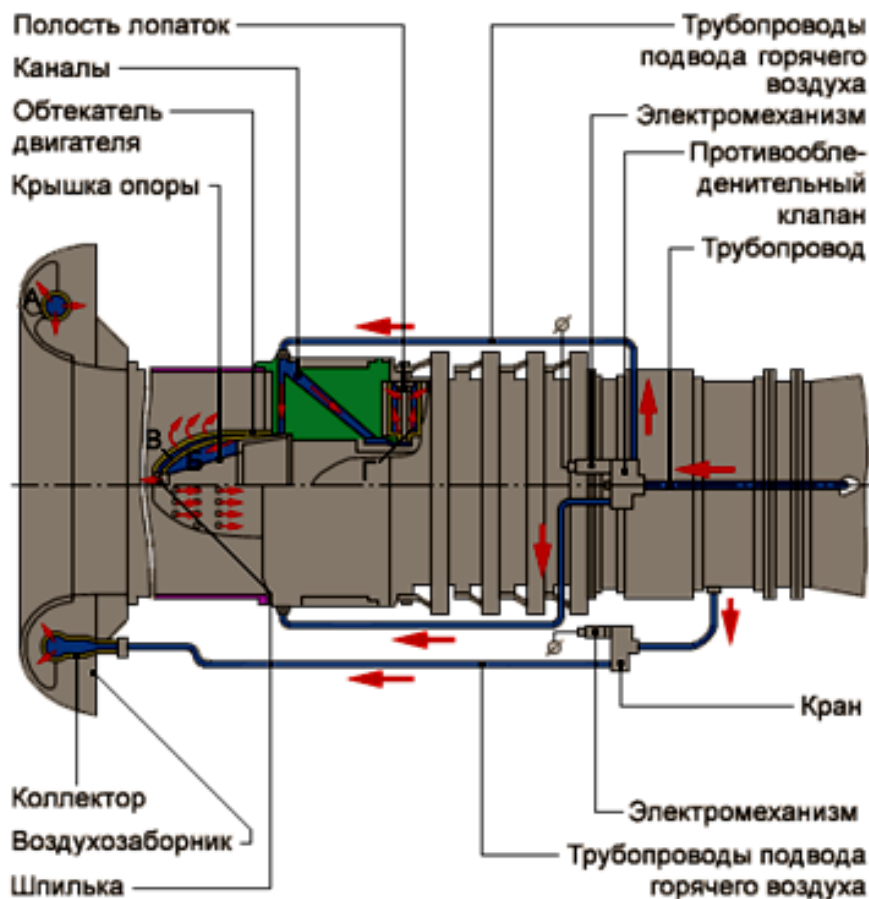


Рисунок 1 – Устройство и работа противообледенительной системы двигателя ТВ2-117АГ

Противообледенительный клапан предназначен для перепуска горячего воздуха из полости корпуса камеры сгорания в каналы корпуса первой опоры двигателя на обогрев элементов конструкции его передней части. Клапан установлен на среднем корпусе компрессора и состоит из корпуса, цилиндра, поршня со штоком, клапана, золотникового механизма с пружиной и электромагнита. При включении противообледенительной системы электрический ток подается на обмотку электромагнита и сердечник его перемещает золотник в крайнее левое положение. При этом топливо под рабочим давлением  $P_{\text{раб}}=27,5\pm 2,5$  кгс/кв.см от плунжерного насоса ПН-40Р в полость (А) поршня, а полость (Б) сообщается со сливом. Под действием давления топлива поршень вместе с клапаном передвигаются вправо и открывают доступ горячему воздуху из полости корпуса камеры сгорания в корпус первой опоры двигателя.



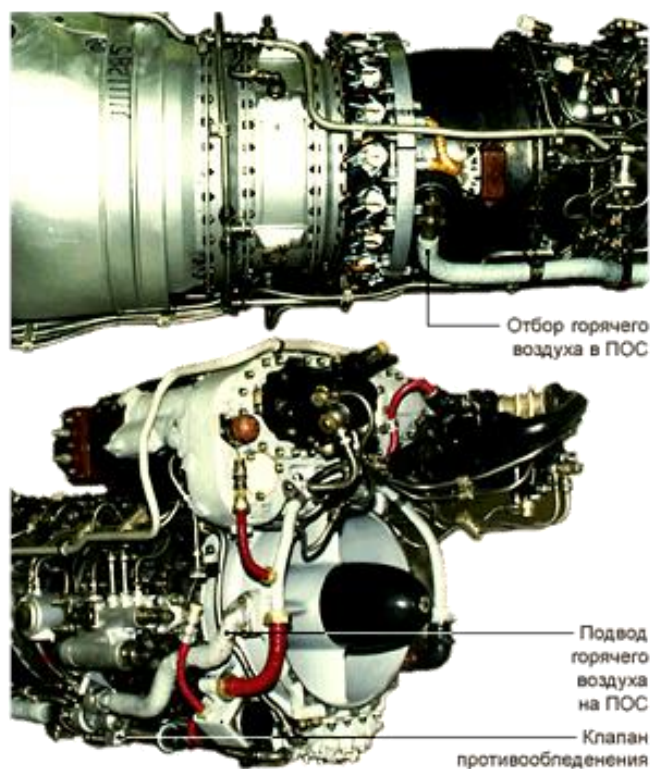


Рисунок 2 – Размещение агрегатов и трубопроводов ПОС двигателя ТВ2-117АГ

При отключении электромагнита золотник под действием пружины перемещается в крайнее правое положение. При этом топливо под рабочим давлением поступает в полость (Б) поршня, а полость (А) сообщается со сливом. Поршень, передвигаясь влево, плотно прижимает клапан к седлу и удерживает его в закрытом положении (см. рис. 3).

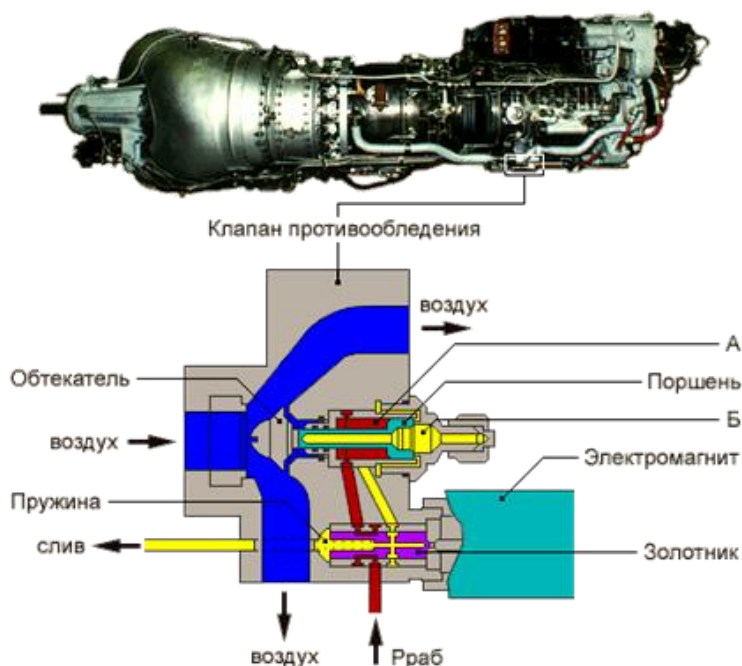


Рисунок 3 – Работа клапана противообледенения



Применение противообледенительной системы позволяет поддерживать оптимальную работу двигателя, поддерживая его рабочую температуру и предотвращая замерзание жидкостей в системе. Это способствует улучшению его эффективности и продолжительности службы. Кроме того, противообледенительная система также играет ключевую роль в обеспечении безопасности полетов, предотвращая возможные нарушения работы двигателя из-за образования льда на его поверхностях.

В последние годы противообледенительные системы стали незаменимой частью двигателей воздушных судов. Однако, существующие модели все еще имеют свои ограничения и требуют постоянного совершенствования. В данном подразделе рассматриваются перспективы развития противообледенительной системы двигателя ТВ2-117АГ. Исследования и разработки направлены на повышение эффективности работы системы, уменьшение влияния аэродинамической нагрузки на двигатель и увеличение его надежности.

Тем не менее, противообледенительные системы имеют и свои недостатки. Один из них заключается в их высокой стоимости. Разработка, установка и обслуживание противообледенительной системы требуют значительных затрат, что может увеличить общие операционные расходы авиакомпании. Возможны также случаи неполадок и сбоев в работе системы, что может привести к непредсказуемым ситуациям во время полета. Кроме того, некоторые противообледенительные системы могут добавлять значительный вес к авиационным двигателям, что снижает их эффективность и производительность.

Двигатель ARRIEL 1 является одним из наиболее популярных двигателей в авиационной индустрии. Его высокая производительность и надежность делают его идеальным выбором для различных типов воздушных судов. Однако, несмотря на все его преимущества, у двигателя ARRIEL 1 есть одно значительное ограничение – отсутствие противообледенительной системы.

Причины отсутствия противообледенительной системы на ARRIEL 1 могут быть различными. Возможно, производитель двигателя принял во внимание специфические условия эксплуатации и климатические особенности, при которых его использование предполагается. Возможно, была найдена иная, более эффективная техническая реализация, исключая необходимость использования традиционных систем противообледенения.

Рассмотрим причины отсутствия противообледенительной системы у двигателя ARRIEL 1, а также оценим его производительность и безопасность при полете в условиях обледенения. Мы также рассмотрим альтернативные методы противообледенения, которые могут быть использованы для минимизации рисков и обеспечения надежной работы двигателя ARRIEL 1.

Отсутствие противообледенительной системы у двигателя ARRIEL 1 является серьезной проблемой, которая может привести к непредвиденным ситуациям и авариям. В условиях низких температур и влажности образуется лед на поверхности двигателя, что может привести к его заморозке и потере работоспособности. Это означает, что пилоты использующих этот двигатель ВС должны быть особенно внимательными при полетах в холодные климатические зоны или в условиях высокой влажности. Отсутствие противообледенительной

системы также может повлиять на производительность двигателя и его эффективность работы. Эта проблема требует дальнейших исследований и разработки соответствующих решений для обеспечения безопасного использования двигателя ARRIEL 1.

Возможные решения проблемы отсутствия противообледенительной системы у двигателя ARRIEL 1 могут включать в себя различные технические и операционные меры. Одним из возможных решений может быть модификация самого двигателя путем добавления специальных элементов или оборудования, которые помогали бы предотвращать образование льда на его поверхности. Другой подход может заключаться в использовании антильдовых жидкостей или специальных покрытий, которые создают защитный слой на поверхности двигателя и предотвращают прилипание льда. Кроме того, операционные меры могут включать контроль и мониторинг условий полета, чтобы минимизировать риски образования льда на двигателе.

Рекомендации по обеспечению безопасной эксплуатации двигателя ARRIEL 1 без противообледенительной системы. В условиях отсутствия противообледенительной системы двигателя ARRIEL 1 необходимо соблюдать определенные меры безопасности. Во-первых, регулярно проверяйте состояние двигателя и его компонентов, особенно в холодные периоды года. Важно убедиться, что нет никаких повреждений или обледенения на критических элементах. Также следует ограничить эксплуатацию двигателя в условиях плохой видимости или низкой температуры.

Однако, необходимо помнить, что конструкторы и производители двигателей обычно тщательно анализируют различные факторы и условия эксплуатации перед принятием решения о наличии или отсутствии противообледенительной системы.

28.04.2001 года при выполнении послеполетного ТО на вертолете Ми-8 № 22914 обнаружены повреждения и забоины лопаток РК I ступени компрессора. Двигатель досрочно снят. Причиной повреждения лопаток I ступени явилось попадание вертолета в условия интенсивного непрогнозируемого обледенения, в условиях которого противообледенительная система двигателя оказалась неэффективной (см. рис. 4).



Рисунок 4 – Повреждения и забоины лопаток РК I ступени компрессора

05.05.2001 года при оперативном ТО вертолета Ми-8МТВ-1 № 25440 были обнаружены повреждения лопаток I ступени входного направляющего аппарата и рабочего колеса компрессора, выходящие за пределы технических условий. Двигатель досрочно снят. Причиной повреждения лопаток явилось попадание вертолета в условия интенсивного обледенения, в котором противообледенительная система двигателя оказалась неэффективной (см. рис. 5).

Рекомендовано техническому составу и бортмеханикам особое внимание уделить верхней поверхности фюзеляжа перед воздухозаборниками двигателей перед их запуском на предмет обледенения.



Рисунок 5 – Повреждения лопаток I ступени входного направляющего аппарата и рабочего колеса компрессора

В заключение, противообледенительные системы являются неотъемлемой частью авиационных двигателей для обеспечения безопасности и непрерывной работы в условиях низких температур. Несмотря на их значительные достоинства, такие как предотвращение образования льда и быстрое освобождение от ледяных отложений, недостатки противообледенительных систем, такие как высокие затраты и возможность возникновения сбоев, необходимо учитывать при разработке и выборе систем для авиационных двигателей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авиационный турбовальный двигатель ТВ 2-117А и редуктор ВР-8А. Руководство по технической эксплуатации. – М.: Машиностроение, 1987. – 256 с.
2. Богданов А. Д., Хаустов И. Г. Авиационный турбовинтовой двигатель ТВ 2-117. Учебное пособие. – М.: «Транспорт», 1970. – 372 с.
3. Кеба И. В. Авиационный газотурбинный двигатель ТВ 2-117А. Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1977. – 175 с.
4. Руководство по летной эксплуатации вертолета Ми-8. Издание 3-е. – М.: "Воздушный транспорт", 1988.
5. Сборник авиационных происшествий от 2000 года.

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ И МЕТОДОВ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ – 2023

Дудкина Д. А.

Сушко М. Ю.  
(научный руководитель)

*Профессионально-педагогический колледж СГТУ им. Ю. А. Гагарина  
(г. Саратов)*

**Аннотация:** Статья обсуждает актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации в 2023 году, такие как безопасность полетов, экологическая устойчивость, управление воздушным движением, экономическая эффективность и надежность техники. Решение этих проблем требует комплексного подхода и взаимодействия различных заинтересованных сторон.

**Ключевые слова:** авиационная техника, безопасность полетов, экологическая устойчивость, управление воздушным движением.

### **Введение**

В наше время авиационная техника и методы ее эксплуатации сталкиваются с рядом актуальных проблем, которые влияют на развитие этой отрасли. В 2023 году важно обратить внимание на ключевые аспекты, такие как безопасность полетов, экологическая устойчивость, управление воздушным движением, экономическая эффективность и надежность техники. Решение этих проблем имеет стратегическое значение для развития авиационной отрасли и обеспечения безопасности и устойчивости авиаперевозок как сегодня, так и в будущем. В данной статье мы проведем анализ указанных проблем, рассмотрим их влияние на авиационную отрасль и обсудим возможные пути их решения.

### **История развития авиационной техники**

9 февраля 2023 в России отмечался один из важнейших и значимых праздников, большой юбилей – 100 лет гражданской авиации России. Днем рождения гражданского воздушного флота России считается 9 февраля 1923 года, когда в СССР был создан Совет по гражданской авиации [1]. За вековую историю гражданская авиация России прошла огромный путь. Были взлёты и «падения», стадия расцвета и затишья. Великолепные годы середины 20 века, прославившиеся легендарными советскими авиалайнерами, которые бороздили просторы всего земного шара.

Хотя отсчет истории авиации России начинается с 1923 года, первым гражданским самолетом считается самолет Игоря Сикорского – «Илья Муромец» (Рис. 1). Появился он в Царской России в 1913 году и считался первым в мире самолетом с отоплением, электрическим освещением, спальней и туалетом. Самолетостроение в России развивалось на базе деревянных конструкций: для

винтов использовали отнюдь не дешевые сорта дерева: красное дерево, орех. Скрепляли части самолета с помощью специального столярного клея [2].

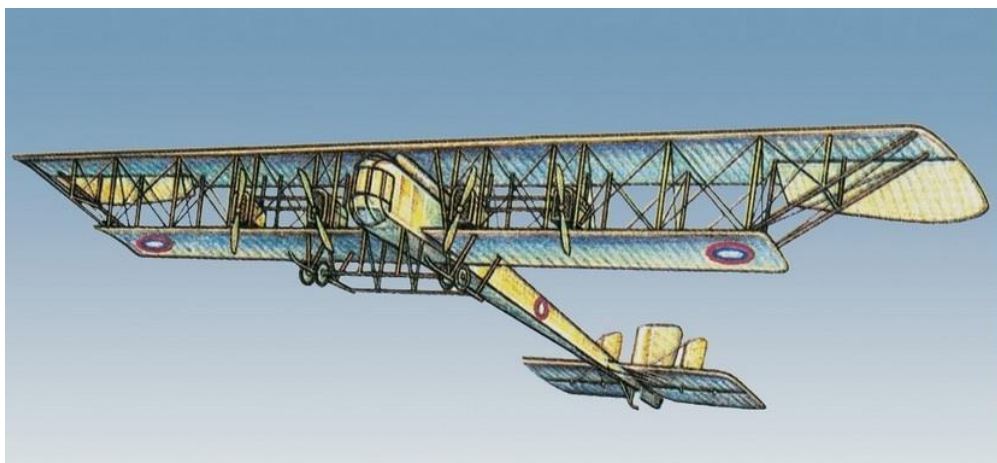


Рисунок 1 – «Илья Муромец» И. И. Сикорского. *Источник:*  
[https://old.bigenc.ru/military\\_science/text/2005571](https://old.bigenc.ru/military_science/text/2005571)

А 1 мая 1922 года, русско-германское общество «Дерулюфт» запустило из немецкого Кенигсберга в Москву и обратно первую в Советской России международную авиалинию. Полет длился 8,5 часов и осуществлялся два раза в неделю. 17 марта 1923 года создано Российское акционерное общество Добровольного воздушного флота – «Добролёт». 15 июля 1923 г. открылась первая внутренняя авиалиния по маршруту Москва – Нижний Новгород протяженностью 420 км. 26 мая 1924 года первый полет первого советского цельнометаллического самолёта конструкции А.Н. Туполев – АНТ-2. Так начала формироваться отрасль гражданской авиации в СССР. Причем развитие шло ускоренными темпами и уже в 1930-х годах отрасль обросла своими вузами, НИИ, заводами и полностью инфраструктурой. Именно в этот период страна перешла полностью на отечественный авиапарк, а производство самолетов стало полного (замкнутого) цикла, не зависящее от импорта.

Расцвет гражданской авиации в СССР приходится на 1955-1988 года, в этот период авиапарк ускоренно пополняется совершенно новыми, не имеющими аналогов авиамашинами: ТУ-104, ТУ-154, ИЛ-76, ЯК-42, ТУ-144, Ан-225 "Мрия" и т.д. [2] Это была эпоха реактивной авиации, и первой советской «ласточкой» в этом направлении становится пассажирский ТУ-104, который совершил свой первый рейс в 1956 году. Это была революция в авиастроении. ТУ-104 был удостоен множества наград.

После распада СССР в 1991 году, как и во всех отраслях бывшего союза, так и на базе «Аэрофлота» начали появляться отдельные самостоятельные авиакомпании. Многие не смогли пережить стрессовых времен перестройки и в последующем закрылись. Авиапром так же прибывал в глубоком упадке... Именно в этот период иностранные авиалайнеры прибывают на эксплуатацию в Россию и начинают вытеснять отечественный авиапарк. Все это приводит к полной зависимости авиаотрасли от иностранных компаний и партнеров. После распада СССР – России в наследство досталось 1450 аэропортов разных



классов. Согласно статистике Минтранса в 2022 году в России насчитывается 260 действующих аэропортов и посадочных площадок. Основные проблемы, с которой столкнулась авиационная отрасль на всех этапах производства и эксплуатации, это: недогрузка производственных мощностей; инфляционный рост цен на энергоресурсы, комплектующие, двигатели и, как результат, на летательные аппараты; потеря квалифицированных кадров.

С 2011 года современная Россия начинает делать первые попытки в восстановлении жизнеспособности современной авиации и первые шаги в отказе от зависимости иностранных партнеров. Первым авиалайнером, полностью разработанным в современной России, стал ближнемагистральный SuperJet 100 (Рис. 2), с 2011 года выпускающийся серийно. На данный момент реализуется программа SSJ-New, предусматривающая полное импортозамещение деталей, агрегатов и систем «Суперджета». Данный обновленный самолет будет эксплуатироваться на новейшем двигателе ПД-8 отечественной разработки.



Рисунок 2 – SuperJet 100. *Источник: <https://eatkga.ru/kursyi-po-samoletu-sukhoi-superjet-100>*

Также разработан среднемагистральный узкофюзеляжный самолет Ту-214 вместимостью до 210 пассажиров. Данные лайнеры используются в качестве спецбортов, но скоро они появятся в авиапарках отечественных перевозчиков. Например, «Аэрофлот» до 2030 года получит 40 таких машин. На начало 2022 года в авиационной промышленности функционировало 268 организаций и предприятий, а общая численность персонала была 415,4 тыс. человек.

Февраль 2022 года разделил мир на жизнь «до» и «после». Российская Федерация столкнулась с беспрецедентным давлением на все отрасли

экономики. Доля воздушных судов в авиакомпаниях Российской Федерации на 2022 год состояла на  $\frac{3}{4}$  из самолетов иностранного производства. Ограничения, коснувшиеся компании, включают в себя запрет на полеты над территориями некоторых стран, запрет на импорт авиамашин в Россию, а также запасных частей к ним, что привело к проблемам в обслуживании и ремонте самолетов. Авиационная отрасль оказалась в критическом состоянии.

Авиационная промышленность – одна из ключевых высокотехнологичных отраслей российской экономики, именно поэтому государство первым пришло на помощь данным предприятиям и компаниям, разработало систему льгот, субсидий, а также долгосрочную программу развития и поддержки.

В настоящее время в авиапромышленности есть возможности по разработке и серийному выпуску гражданской продукции во всех основных подотраслях (самолетостроение, вертолетостроение, двигателестроение, приборостроение и агрегатостроение). Но все-таки доля продукции военного назначения намного превышает долю производства и поставки гражданской продукции. Что приводит к низкой серийности ее выпуска и, как результат, к ее высокой стоимости. Все это снижает конкурентоспособность российской авиапродукции, приводит к низкой рентабельности и высокой кредитной нагрузке отрасли.

На данный момент для поддержания устойчивости в производстве и эксплуатации отечественных гражданских самолетов мы наблюдаем активное слияние Государственных корпораций и частных производств. Это позволяет совместно реализовывать крупные финансовые проекты, чтобы современная авиапромышленность стала высокотехнологичной независимой отраслью.

В качестве некоторых примеров можно привести следующие корпорации:

Публичное акционерное общество "Объединенная авиастроительная корпорация" является системообразующим звеном российского самолетостроения и реализует такие ключевые проекты, как среднемагистральный самолет МС-21, ближнемагистральный самолет Сухой Суперджет в модификациях с максимальным импортозамещением компонентов и систем (SSJ-NEW), региональный пассажирский самолет Ил-114-300 и широкофюзеляжный дальнемагистральный российско-китайский самолет (проект CR-929).

Акционерное общество "Вертолеты России" является системообразующим звеном российского вертолетостроения и реализует такие ключевые проекты, как завершение создания вертолетов Ми-38 и Ка-62, модернизация вертолета Ансат, создание модификации вертолета Ми-171А – Ми-171АЗ "офшор". Существующий модельный ряд отечественных гражданских вертолетов включает машины легкого, среднего и тяжелого классов, работы по усовершенствованию которых продолжаются в рамках программ их модернизации.

Акционерное общество "Объединенная двигателестроительная корпорация" является системообразующим звеном российского двигателестроения и реализует такие проекты по созданию двигателей для

гражданского сегмента, как ПД-8, ПД-14, ПД-35 и ТВ7-117СТ-01. Сегодня в указанном акционерном обществе собран практически весь интеллектуальный и производственный ресурс отрасли.

В настоящее время методами решения проблемы, а также основными целями государственной политики в сфере реализации государственной программы Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности», являются:

- защита государственных интересов Российской Федерации в области авиационной деятельности;
- повышение уровня транспортной доступности и связанности территорий Российской Федерации;
- обеспечение устойчивого развития российской авиационной промышленности и воздушного транспорта Российской Федерации;
- повышение уровня авиационной безопасности и безопасности полетов воздушных судов;
- удовлетворение потребностей внутрироссийских перевозок за счет авиационной техники российского производства с достижением;
- доведение к 2030 году долей самолетов и вертолетов российского производства в парке крупнейших российских авиаперевозчиков не менее 50 процентов и 90 процентов соответственно [4].

Российское самолетостроение на данный момент сталкивается с трудностями из-за разрушенных экономических связей, логистических цепочек, проблем в банковском секторе и т.д. Но в случае успешной реализации задуманной программы Россия сможет триумфально вернуться на мировой рынок гражданской авиации, покажет высокую конкурентоспособность и закрепит свои позиции, так как обладает достаточно мощным экономическим, технологическим и научным потенциалом в данной отрасли.

Результатом реализации Программы будет выпуск на рынок таких новых образцов авиатехники, как среднемагистральный самолет МС-21, ближнемагистральный самолет Ил-114-300 (с российским двигателем ТВ7-117СТ-01) и легкий многоцелевой самолет "Байкал" (ЛМС-901), разработка которых была начата в рамках Программы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 100 лет гражданской авиации России // [Электронный ресурс] – 2023 – URL: <https://rostec.ru/news/100-let-grazhdanskoy-aviatsii-rossii/?ysclid=lnzy6dy5tm230440853> (дата обращения: 21.10.2023)
2. История воздухоплавания и авиации в России (июль 1914 г.- октябрь 1917 г.) / П. Д. Дузь. – 3-е изд., доп. – Москва : Машиностроение, 1989. – 336 с.
3. Большая российская энциклопедия 2004-2017 // [Электронный ресурс] 2004 – URL: [https://old.bigenc.ru/technology\\_and\\_technique/text/4424451](https://old.bigenc.ru/technology_and_technique/text/4424451) (дата обращения: 21.10.2023)
4. Постановление Правительства РФ от 22.11.2022г. №2114 «О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации "Развитие авиационной промышленности"».



## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕРТОЛЕТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ КУРСАНТОВ КОЛЛЕДЖА

Капранов О. Д., Лобкова Д. А.

Веремчук Е. А.  
(научный руководитель)

*Омский летно-технический колледж гражданской авиации имени А. В. Ляпидевского – филиал ФГБОУ ВО «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева»  
(г. Омск)*

**Аннотация.** В настоящий момент в гражданской авиации России из-за наложенных санкций возникла сложность с вертолетами первоначального обучения для курсантов. В настоящей статье приведен сравнительный анализ вертолетов, которые можно использовать в качестве воздушных судов для первоначального обучения.

**Ключевые слова:** вертолет, первоначальное обучение, сравнительный анализ, технические характеристики, летные характеристики.

Российская Федерация – один из ведущих мировых производителей вертолетов, имеющий богатую историю в области их создания. Вертолеты стали одним из самых важных инноваций в авиации, сыграв роль в развитии транспортной инфраструктуры, военной силы и научных исследований. Россия оставила свой след в истории создания вертолетов, начиная с исследований вертикального взлета и поступательного полета до технологического прорыва и создания современных вертолетов.

Сегодня Россия производит различные типы вертолетов, включая гражданские и военные модели. Российские производители продолжают разрабатывать новые модели вертолетов и модифицировать уже имеющиеся. На сегодняшний день можно сказать, что российские вертолеты являются надежными, маневренными и приспособленными к самым сложным условиям эксплуатации ввиду того, что они используются в районах Крайнего Севера, где температуры могут достигать  $-60^{\circ}\text{C}$  (вертолет Ми-8Т можно использовать при температурах от  $-50^{\circ}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ ) [1].

В настоящий момент в России существует лишь одно учебное заведение, обучающее пилотов вертолетов для гражданской авиации (ГА) – Омский летно-технический колледж ГА. Выпускники колледжа становятся пилотами Ми-8Т, а в дальнейшем переобучаются на другие модификации Ми-8, являющиеся самым массовым вертолетом в истории авиации.

По настоящее время курсанты колледжа имели возможность проходить первоначальное обучение на однодвигательных вертолетах AS-350 и Bell-470. Однако, в настоящий момент странами-производителями данных вертолетов в отношении России были наложены санкции, сделавшие обучение на AS-350 и

Bell-470 почти невозможным. Ввиду этого остро встал вопрос о необходимости поиска альтернативных вариантов для обучения курсантов.

### **AS-350**

AS 350 «Экюрей» – французский многоцелевой вертолёт. Разработан французской фирмой «Аэроспасьяль». Совершил первый полёт в 1974 году, всего до 2001 года было произведено более 2000 вертолётов [2].

Применение:

- Грузоперевозки;
- Пожаротушение;
- Сельское хозяйство;
- Высокогорное и другое сложное строительство;
- Санитарная авиация;
- Перевозка пассажиров;
- Полиция;
- СМИ;
- Береговая охрана;
- Первоначальное обучение;
- Горные спасатели.

Eurocopter AS350B3 принадлежит мировой рекорд: взлет и посадка на Эвересте на высоте 8850 м [4]. Вертолет одновинтовой схемы с рулевым винтом, одним или двумя газотурбинными двигателями и лыжным шасси [5]. Фюзеляж типа полумонокок, в передней части кабины расположены сиденья для двух членов экипажа. Шасси неубирающееся, лыжного типа. Несущий винт трехлопастный, рулевой винт двухлопастный, установлен с правой стороны хвостовой балки у основания киля [5].

Силовая установка состоит из одного двигателя, установленного рядом над фюзеляжем за кабиной и разделенных противопожарной перегородкой, заключен в отсек из нержавеющей стали [5]. Система управления бустерная, дублированная. Для управления циклическим и общим шагом несущего винта и путевого управления используются четыре гидроусилителя [5].

Технические характеристики [5]:

- Масса пустого: 1175 кг;
- Максимальная взлётная масса: 2250 кг;
- Объём топливных баков: 540 л;
- Мощность двигателей: 1 × 847 л.с.

Летные характеристики [5]:

- Максимально допустимая скорость: 287 км/ч;
- Максимальная скорость: 259 км/ч;
- Практическая дальность: 661 км;
- Практический потолок: 5280 м.

### **Bell-470**

Bell 407 – американский лёгкий многоцелевой вертолёт. Прототип совершил первый полёт 21 апреля 1994 года. Первый полёт предсерийного вертолётa состоялся 29 июня 1995 года (С-GFOS). В 1996 году вертолёт был

сертифицирован FAA и ТССА. Первые вертолёты были заказаны фирмой Petroleum Helicopters. До 1999 года было построено более 300 вертолётов. 15 июня 2010 года был поставлен 1000-й вертолёт [3].

Применение:

- Санитарная авиация;
- Перевозка пассажиров;
- Полиция;
- СМИ;
- Первоначальное обучение.

На Bell 407 установлен четырёхлопастной несущий винт. В конструкции пилона несущего винта используются виброизолирующие средства, такие же средства внедрены в конструкцию ползкового шасси для устранения земного резонанса. На вертолёте установлен турбовальный двигатель Rolls-Royce/Allison 250-C47. Большую известность вертолёту Bell 407 принёс рекордный кругосветный перелет, маршрут которого проходил через оба полюса Земли. С двумя членами экипажа машина взлетела из аэропорта г. Форт-Уорт (штат Техас) 5 декабря 2006 года и вернулась обратно 23 марта 2007 года. За 189 дней было преодолено свыше 57 900 км, совершено несколько десятков посадок, в том числе на Южном и Северном полюсах. Чистое полётное время составило 300 ч.

Технические характеристики [6]:

- Масса пустого: 1 203 кг;
- Максимальная взлётная масса: 2 381 кг;
- Объём топливных баков: 484 л;
- Мощность двигателей: 1 × 760 л.с.

Летные характеристики [6]:

- Максимально допустимая скорость: 259 км/ч;
- Крейсерская скорость 207 км/ч;
- Практическая дальность: 611 км;
- Практический потолок: 6 100 м.

#### **Ансат**

«Ансат» – российский лёгкий многоцелевой вертолёт, разработанный Конструкторским бюро «Казанского вертолётного завода» (КВЗ). Первый полёт совершён в 1999 году. К 2021 году было выпущено более 90 вертолетов [7].

Применение:

- Доставка грузов;
- Перевозка пассажиров;
- Проведение поисково-спасательных операций;
- Патрулирование;
- Санитарная авиация;
- Административные перевозки;
- Первоначальное обучение.

Построен по одновинтовой схеме с рулевым винтом, с двумя газотурбинными двигателями. Двойное хвостовое оперение [8]. Фюзеляж –

цельнометаллический, лопасти винтов – из стеклопластика. Несмотря на традиционную компоновку нашлось место и для инноваций. Например, лопасти несущего винта имеют композитные бесшарнирные крепления. Кроме того, машина изначально имеет электродистанционную систему управления [8].

На вертолёт установлены два канадских газотурбинных двигателя PW207K, оснащённых электронной системой управления. Каждый двигатель имеет одноступенчатый центробежный компрессор и одноступенчатые турбины высокого и низкого давления [8].

Технические характеристики [8]:

- Масса пустого: 2365 кг;
- Максимальная взлётная масса: 3600 кг;
- Масса топлива во внутренних баках: 530 кг;
- Мощность двигателей:  $2 \times 630$  л. с.

Летные характеристики [8]:

- Максимально допустимая скорость: 275 км/ч;
- Крейсерская скорость: 250 км/ч;
- Практическая дальность: 505 км;
- Практический потолок: 5500 м.

### **Ми-2**

Ми-2 (по классификации НАТО: *Нoplite* – «Гоплит») – советский многоцелевой вертолёт, разработанный ОКБ М. Л. Миля в начале 1960-х годов. До окончания производства в 1992 году построено свыше 5400 единиц.

Применение:

- Доставка грузов;
- Перевозка пассажиров;
- Проведение поисково-спасательных операций;
- Административные перевозки;
- Первоначальное обучение;
- Сельскохозяйственные цели;
- Контроль дорожного движения;
- Вертолетный спорт.

Фюзеляж Ми-2 имеет полумонококовую цельнометаллическую конструкцию [10]. Силовая установка находится в большой надстройке над фюзеляжем вертолёта. Спереди трёхступенчатого главного редуктора находятся два двигателя ГТД-350, а сверху – вентилятор, охлаждающий маслорадиаторы двигателей и главного редуктора, а также агрегаты на главном редукторе [10].

Несущая система включает в себя трёхлопастный несущий винт с прямоугольными лопастями и двухлопастный рулевой хвостовой винт. На несущем винте установлены гидравлические демпферы. Управление общим и циклическим шагом несущего винта осуществляется при помощи гидроусилителей. В случае отказа гидросистемы пилот может применять ручное управление [10].

Кабина экипажа одно-двухместная, чаще всего лётчик сидит на сиденье слева, в учебно-тренировочной модификации лётчик и курсант сидят рядом, в таком случае управление вертолёта сдвоено [10].

Технические характеристики:

- Масса пустого: 2350 кг;
- Максимальная взлётная масса: 3700 кг;
- Масса топлива во внутренних баках: 465 кг;
- Мощность двигателей:  $2 \times 400$  л. с.

Летные характеристики [9]:

- Максимальная скорость: 210 км/ч;
- Крейсерская скорость: 190 км/ч;
- Практическая дальность: 360 км;
- Практический потолок: 4000 м.

Сравнительный анализ вышеперечисленных вертолетов основан на их технических и летных характеристиках и представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ вертолетов первоначального обучения

Характеристика	Ми-8Т	AS-350	Ми-2	Bell-407	Ансат
Максимальная взлётная масса, кг	12000	2250	3700	1 178	3600
Максимальная скорость, км/ч	259	287	210	259	275
Мощность двигателей, л.с.	2 x 1 000	1 × 847	2 × 400	1 × 760	2 × 630
Практическая дальность, км	480	661	360	611	505
Крейсерская скорость, км/ч	225	235	190	207	250
Расход топлива, кг/ча	640	147	235	144	240
Практический потолок, м	6000	5280	4000	6100	5500
Статус производства	эксплуатируется	эксплуатируется в производстве	Не производится	эксплуатируется	эксплуатируется в производстве

Из таблицы 1 видно, что используемый в ОЛТК ГА AS-350 обладает наибольшей максимальной скоростью и практической дальностью полета. При этом расход топлива отличается от Bell-470 всего на 3 кг/ч. Однако использование AS-350 и Bell-470 для первоначального обучения в современных реалиях сильно усложнено в виду санкций и импортозамещения.

Вертолет Ансат до настоящего времени находил применение в Сызранском высшем военном авиационном училище лётчиков (СВВАУЛ) в качестве ВС для первоначального обучения курсантов [7]. Однако несмотря на то, что Ансат разработан КБ «Казанского вертолётного завода», в них применяются двигатели PW-207K (Америка). Их использование так же, как и в

случае AS-350 и Bell-470, не представляется возможным. Имеющиеся на текущий момент отечественные двигатели не подходят под размер фюзеляжа. В настоящий момент ведутся разработки по созданию двигателя ВК-650В, который в перспективе сможет решить проблему с эксплуатацией вертолетов Ансат и КА-226Т. Ожидаемая мощность двигателя на взлетном режиме – 650 л.с.

Исходя из проведенного анализа, можно сделать вывод, что вертолетом первоначального обучения для пилотов ГА может стать Ми-2. Данный вертолет является предшественником Ми-8, что является преимуществом в дальнейшем переобучении на данный вид ВС. Однако, выпуск Ми-2 закончился в 1998 г., выпускался он в Польше. В настоящее время основная сложность заключается в том, что данные вертолеты отсутствуют в товарном количестве (основная часть машин находится либо в руках частных лиц, либо в ДОСААФ России, либо в качестве музейных экспонатов, для обучения курсантов понадобятся тренажеры, которые отсутствуют в учебных заведениях ГА, также отсутствуют инструкторы.

В настоящий момент в гражданской авиации сложилась сложная ситуация, в которой учебные заведения ГА вынуждены искать альтернативные воздушные средства, подходящие для первоначального обучения курсантов. В дальнейшем это может стимулировать развитие авиационной промышленности России.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по летной эксплуатации вертолета Ми-8 – Москва: Департамент Воздушного транспорта, 1996. – 554 с.
2. Аэропассаж // Авиация: Энциклопедия / Гл. ред. Г. П. Свищёв. – Москва: Большая Российская энциклопедия, 1994. – 380 с.
3. Janes All the World's Aircraft 2004-2005 // [Электронный ресурс]. – 2005. URL: <https://ru.djvu.online/file/DI4nBpzDyvtbh> (Дата обращения 17.11.2023г.)
4. Знаменательные даты II квартала 2010 г. в области авиации // Авиация и космонавтика. – Москва, 2010. – № 4. – 83 с.
5. Руководство по летной эксплуатации вертолета AS 350 В3Е – Европейское агентство по безопасности полетов, 2011. – 518 с.
6. Rotorcraft Flight Manual Bell 407 Revision 7 – Department of transport, 2008. – 729 с.
7. ВВС России получают 30 лёгких вертолётов «Ансат» // [Электронный ресурс]. – 2012. URL: <https://lenta.ru/news/2012/05/22/ansat/> (дата обращения: 17.11.2023)
8. Техническая документация Ансат // [Электронный ресурс]. – 2019. URL: [https://www.rhc.aero/uploads/Documents/ANSAT%20Technical%20Data\\_rus.pdf](https://www.rhc.aero/uploads/Documents/ANSAT%20Technical%20Data_rus.pdf) (дата обращения: 17.11.2023)
9. Инструкция экипажу вертолета Ми-2 – Москва: Военное издательство Министерства обороны СССР, 1978. – 121 с.
10. ОКБ Миля, Ми-2 // [Электронный ресурс]. – Все вертолеты мира. URL: [http://aviastar.org/helicopters\\_rus/mi-2.php](http://aviastar.org/helicopters_rus/mi-2.php) (дата обращения: 17.11.2023)

## ОРГАНИЗАЦИЯ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ РЕЗЕРВА В УСЛОВИЯХ АВИАЦИОННЫХ ЧАСТЕЙ

Королев М. Д.

Воронцев В. А.  
(научный руководитель)

*ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского  
и Ю.А. Гагарина»  
(г. Воронеж)*

**Аннотация.** В предлагаемой статье был проведён анализ проблем организации хранения авиационной техники, рассмотрены общие положения по хранению авиационной техники резерва военно-воздушных сил, современное состояние хранения авиационной техники и экономическая рентабельность хранения авиационной техники.

**Ключевые слова:** хранение авиационной техники, готовности авиационной техники к оперативному использованию, современные информационные системы учета и контроля авиационной техники.

Авиационная техника, выводимая на хранение и временно не используемая по назначению, является авиационной техникой мобилизационного резерва. Численный состав, типы, модификации и степени готовности к использованию по назначению самолетов и вертолетов мобилизационного резерва устанавливаются приказами командующих объединениями [1].

Авиационная техника мобилизационного резерва находится, как правило, на длительном хранении на базах резерва самолетов, а также при авиационных частях. Работы по техническому обслуживанию самолетов мобилизационного резерва производятся на базах резерва личным составом баз, при авиационных частях – личным составом нештатных команд хранения [2].

Проводя анализ организации хранения и обслуживания авиационной техники необходимо особое внимание уделить вопросам технического обслуживания и ремонта, необходимости поддержания готовности авиационной техники к оперативному использованию в случае мобилизации, рассмотреть перспективы развития системы хранения и управления авиационной техникой мобилизационного резерва, включая возможное использование новых технологий и методов. Исследование позволяет выявить основные проблемы и недостатки существующей системы хранения авиационной техники мобилизационного резерва и предложить практические рекомендации для их устранения и улучшения эффективности использования резервного авиационного парка военно-воздушных сил.

Авиационная техника мобилизационного резерва является важным ресурсом. Однако ее хранение и обслуживание представляют собой сложную

задачу, которая требует учета многих факторов. Некоторые из этих факторов могут включать в себя [3]:

Организационные вопросы:

Необходимо разработать эффективную систему управления авиационным резервом, которая позволит быстро и эффективно реагировать на изменения в обстановке.

Технические вопросы:

Хранение авиационной техники мобилизационного резерва требует специальных условий, таких как поддержание определенной температуры и влажности, а также регулярное обслуживание и ремонт.

Кадровые вопросы:

Необходимо иметь достаточное количество квалифицированных специалистов для обслуживания и ремонта авиационной техники мобилизационного резерва.

Финансовые вопросы:

Хранение и обслуживание авиационной техники мобилизационного резерва требует значительных затрат, поэтому необходимо разработать эффективную систему финансирования.

В целом, хранение авиационной техники мобилизационного резерва в авиационных частях является сложной задачей, которая требует учета многих факторов.

К сожалению, практика организации работ по хранению авиационной техники показывает, что цикличность и полнота выполнения работ очень часто не соответствует требованиям руководящих документов. Нарушение технологического процесса хранения авиационной техники происходит по следующим причинам:

- хранение не законсервированной авиационной техники;
- погодные условия (осадки, низкие температуры и т.д.);
- не укомплектованность инженерно-технического состава;
- отрыв инженерно-технического состава на другие виды работ (приемка авиационной техники, полеты, консервация и т.д.);
- отрыв инженерно-технического состава в наряды, командировки, отпуска, болезни и т.д.

Однако, при правильной организации и управлении это может быть эффективным способом обеспечения готовности военно-воздушных сил к выполнению задач по предназначению. Основные перспективы хранения авиационной техники мобилизационного резерва в авиационных частях могут быть связаны с внедрением новых технологий и методов управления, а также улучшением организации и координации процессов.

Во-первых, необходимо применять современные информационные системы для учета и контроля авиационной техники, которые позволят в реальном времени отслеживать состояние (исправность) летательных аппаратов, а также наличие запасных агрегатов, периоды проведения всех видов работ (регламентные работы, 3 6 12 24 48 месячное техническое обслуживание,



сезонное обслуживание). Это позволит эффективно отслеживать состояние и ресурсы каждого самолета или вертолета, их агрегатов и блоков, а также планировать и распределять работы на авиационные техники резерва, которые включают в себя:

- планирование работ по контролю технического состояния и технического обслуживания авиационной техники, содержащейся на хранении;
- подготовку личного состава расчета хранения к выполнению работ по контролю технического состояния и технического обслуживания авиационной техники;
- подготовку средств наземного обслуживания, контрольно-проверочной аппаратуры, средств технического обслуживания и материально-технического обеспечения работ;
- контроль технического состояния авиационной техники в установленные сроки;
- техническое обслуживание и ремонт авиационной техники по результатам контроля технического состояния;
- оформление документации;
- освежение, замену авиационно-технического имущества и материалов;
- совершенствование условий хранения;
- обеспечение сохранности авиационной техники.

Во-вторых, создать штатные расчеты хранения, которые будут являться подразделениями технико-эксплуатационной части (далее – *тэч*) (объединенной технико-эксплуатационной части, (далее – *отэч*)) воинской части.

Расчеты хранения предназначены для выполнения следующих задач:

- прием авиационной техники на хранение;
- обеспечение сохранности авиационной техники;
- выполнение работ по хранению авиационной техники;
- подготовка и передача авиационной техники по назначению;
- подготовка документов на списание и утилизацию авиационной техники.

Перечень документации, которая ведётся в расчете, приведен в Приложении № 1.

## Приложение № 1

### ПЕРЕЧЕНЬ ДОКУМЕНТАЦИИ РАСЧЕТА ХРАНЕНИЯ

Для контроля выполнения работ на авиационной технике, находящейся на хранении, учета состояния АТ в расчете хранения ведется следующая документация:

- журнал начальника расчета хранения (начальника группы) (Приложение № 1.1);
- журнал учета хранения и консервации авиационной техники резерва (Приложение № 1.2);
- журнал ежедневных планов работ (Приложение № 1.3);

- план-график выполнения работ по хранению на авиационной технике и оборудовании (Приложение №1.4);
- технологические карты выполнения работ на авиационной технике по хранению (Приложение №1.5).

Рассмотрим правильность заполнения документации на примере.

#### Приложение №1.5 Форма технологической карты и правила ее заполнения

– (1) к РХ №	– (2) ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА №	– (3) На страницах	
– (4) Пункт РХ	– (5) Наименование работы	– (6) Трудоемкость чел. ч	
– (7) Содержание операции и технические требования (ТТ)		– (8) Работы, выполняемые отклонениях от ТТ	– (9) при Контроль
–		–	–
Контрольно-проверочная аппаратура (КПА)	Инструмент и приспособления	Расходные материалы	
– (10)	– (11)	– (12)	

Технологические карты составляются на все виды работ, связанных с контролем технического состояния, консервацией, устранением коррозионных повреждений деталей для каждой группы конструкционных материалов, либо деталей (сборочных единиц), имеющих особенности в их выполнении [4].

Графы должны содержать;

Графа 1 – номер руководства по хранению (далее – РХ);

Графа 2 – номер технологической карты;

Графа 3 – номера страниц на одну работу;

Графа 4 – не указывается;

Графа 5 – наименование работы;

Графа 6 – заполняется: трудоемкость устранения коррозионных повреждений;

Графа 7 – переходы (в логической последовательности), на которые разбивается выполняемая работа, критерии и параметры, характеризующие исправность изделия, детали;

Графа 8 – ссылки на работы по устранению неисправностей;

Графа 9 – указывается, кто проводит контроль;

Графа 10 – контрольно-проверочная аппаратура, необходимая для проверки;

Графа 11 – инструмент и приспособления, используемые в работе;

Графа 12 – материалы, используемые при работе.

Графы 1-6 приводят только на первом листе технологической карты.

Примечание. Графы 10-12 помещают на последней странице технологической карты.

В-третьих, оборудование стоянки для размещения авиационной техники

мобилизационного резерва.

Размещение стоянки хранения авиационной техники определяется командиром воинской части. Стоянка хранения авиационной техники размещается отдельно от воздушных судов авиации строя (постоянной готовности), приоритетно (по возможности) на территории *тэч* (*отэч*), либо в непосредственной близости от нее.

Места размещения авиационной техники должны обеспечивать:

- безопасное хранение и сбережение воздушных судов, средств наземного обслуживания специального пользования (далее – СНО СП), оборудования и имущества;

- недопущение повреждения воздушных судов;

- удобство буксировки воздушных судов,

- соблюдение мер противопожарной безопасности;

- условия для выполнения работ по хранению, предусмотренных технической документацией.

Места хранения должны быть оборудованы средствами пожаротушения согласно установленным нормам.

На каждую стоянку хранения авиационной техники должна быть отработана следующая документация:

- план стоянки;

- схема размещения воздушных судов;

- схема передвижения и эвакуации.

Съемное оборудование и вооружение должны храниться отдельно от воздушных судов. Условия хранения должны соответствовать требованиям действующей эксплуатационной документации, при этом должно обеспечиваться нормативное время комплектации воздушных судов.

Для повышения готовности авиационной техники мобилизационного резерва также важно обеспечить ее своевременное техническое обслуживание и ремонт. Для этого важно привлечь дополнительные ресурсы и финансирование, улучшить организацию и координацию процессов обслуживания и ремонта.

Таким образом, организация хранения авиационной техники мобилизационного резерва Военно-воздушных сил России очень сложный и многогранный процесс, который целиком и полностью ложится на плечи инженерно-авиационной службы. От правильной организации технологического процесса хранения АТ зависит, будут ли способны подняться в небо и выполнить боевые задачи в особый период самолеты и вертолеты резерва Военно-воздушных сил.

Принятие соответствующих мер позволит улучшить готовность Военно-воздушных сил к оперативным действиям и обеспечить эффективное использование авиационной техники мобилизационного резерва.

В статье были рассмотрены и проанализированы проблемы и перспективы хранения авиационной техники мобилизационного резерва в авиационных частях. Таким образом, можно сделать вывод о необходимости формирования новых подразделений, обучения и повышения квалификации специалистов, разработки новых, более эффективных информационных систем

для учета и контроля авиационной техники, а также разработки резервных складов обеспечения хранения авиационной техники.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральные авиационные правила инженерно-авиационного обеспечения государственной авиации, книга 1. Министерство обороны РФ. – Москва, 2009.
2. Организация хранения авиационной техники мобилизационного резерва военно-воздушных сил / В. А. Воронцев, И. В. Вознюк, В. П. Киринов, С. М. Уружбеков // Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации – 2022: сборник трудов XV Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов, посвященной празднованию 100-летия конструкторского бюро «Туполев». – Иркутск: МГТУ ГА, 2022.
3. Положение о базе резерва самолетов ВВС, введенное в действие приказом ГК ВВС № 212 от 18.09.89 г.
4. ГОСТ 18675- 2012. Документация эксплуатационная и ремонтная на авиационную технику и покупные изделия для нее. – Москва: Стандартинформ, 2013.

УДК 629.7.017.073

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОЛНИЕЗАЩИТЫ КОМПОЗИТНЫХ ПАНЕЛЕЙ И ОБШИВОК

Красноштанова В. С., Хороших А. С., Дерганова Д. О.

Захаров Р. Н.  
(научный руководитель)

*ГБПОУИО «ИАТ»  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** Развитие в авиации композитных материалов приводит к возникновению более сложных задач. Одной из таких является слабая проводимость углепластиков, применяемых в современной авиации. Применение композитных материалов позволяет уменьшить вес конструкции и повысить аэродинамическое качество. В данной статье рассмотрены возможные влияния ударов молнии в самолет, влияние явления на конструкцию и существующие варианты решений. Сформулированы гипотезы решения данной проблемы.

**Ключевые слова:** композитный материал, углепластик, металлизация, молниезащита, молниезащитное покрытие.

Авиационная промышленность постоянно нуждается в новых технологических решениях. Постоянно ведется совершенствование применяемых технологий и внедрение новых. Среди новых технологий находят применение композитные материалы. Детали из углепластика наряду с металлическими сплавами используются в конструкции современных летательных аппаратов. Преимущество композитных материалов по сравнению

с другими материалами заключается в возможности снизить массу конструкции при сохранении прочностных характеристик. Такие материалы обладают высокой коррозионной стойкостью и усталостными свойствами. Сочетание лёгкости и прочности делает его хорошей альтернативой алюминиевым сплавам. Так, масса детали из композитного материала не превышает 20% от массы из аналогичных материалов, но превосходит их по прочности, упругости и устойчивости к давлению. Например, прочность на растяжение алюминия 500 МПа, титанового сплава 1000 МПа, высокопрочной стали 1400 МПа, а прочность углепластика 780-1800 МПа [10].

Процентное содержание применяемых композитных материалов в современных самолётах значительно возрастает: на Airbus A350 составляет 52% от общей массы самолёта, на Boeing 787 – 50% [11]. В России наибольших успехов во внедрении композитных материалов в конструкцию отечественных самолётов добилась ПАО «Яковлев» (ранее корпорация «Иркут»), разрабатывающая самолёт МС-21. От общего количества материалов, используемых при создании самолёта, композитных материалов в нём 35%. Такой результат обусловлен тем, что консоли крыла и оперение самолёта почти полностью выполнены из композитных материалов. Элементы, выполненные из композитных материалов на МС-21, представлены на рисунке 1.

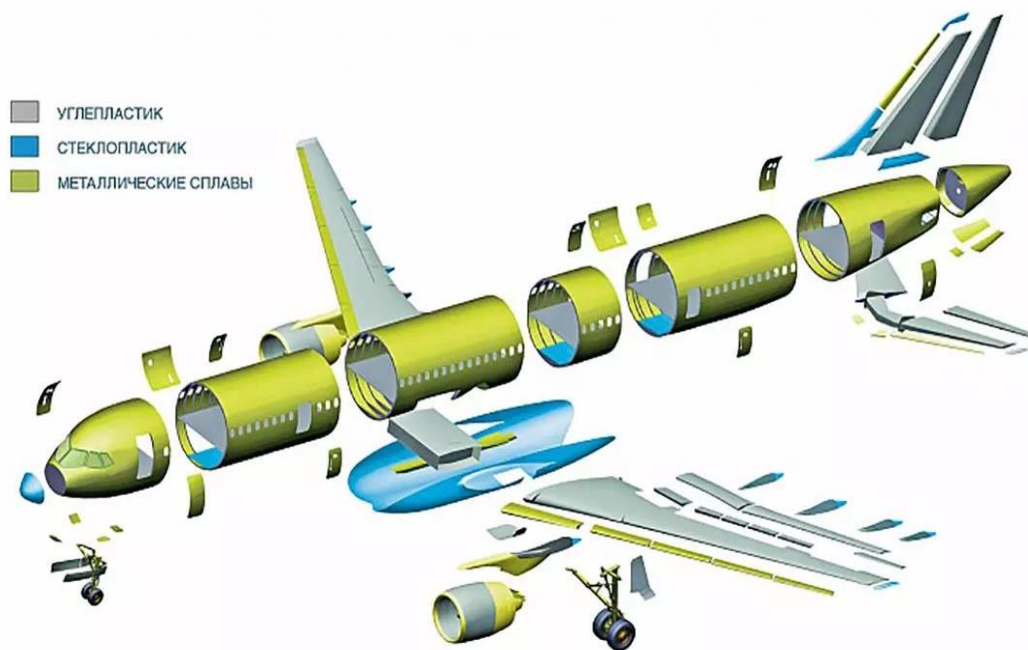


Рисунок 1 – Композитные материалы в самолёте МС-21. *Источник:* <https://skasoft.ru/dokument/34/chto-takoe-kompozitnyj-material-v-aviacii>

Поскольку конструкционные углепластики являются слабыми проводниками, то незащищённые углепластиковые конструкции могут быть повреждены при ударах молнии, что неприемлемо с точки зрения ресурса и эксплуатационных требований.

Чаще всего удары молнии происходят во время набора высоты и при посадке в полёте на высотах от 5000 до 15000 футов (1524-4572 м). Выше 20000 футов (6096 м) вероятность удара молнии значительно меньше [1].

Наиболее подверженными ударам молнии являются кромки самолёта, включая нос, законцовки крыла, рулевые поверхности, стабилизаторы, антенны и мотогондолы двигателей на пилонах.

Поскольку воздействие молнии на поверхность самолёта не равномерно, вся поверхность самолёта условно делится на три зоны:

1. Зона А – это поверхность самолёта, где вероятны начальные (прямые) разряды молнии, и где токи имеют максимальные параметры ( $I=200$  кА,  $Q = 200$  Кл);

2. Зона В – это поверхность самолёта, где вероятно смещение разряда из зоны А. Сила тока молнии в этой зоне немного ниже, чем в зоне А ( $I=200$  кА,  $Q = 20$  Кл);

3. Зона С – поверхности летательных аппаратов, не вошедшие в зоны А и В [9].

При ударе молнии в металлические конструкции повреждения обычно локализованы и имеют вид кратеров или сквозных отверстий, образующихся в результате плавления или сублимации сплава.

В отличие от металлов углепластики повреждаются в виде сквозных отверстий, которые раскалываются или трескаются на расстоянии десятков сантиметров от траектории разряда, разъедая и расслаивая материал, что вызывает отслоение слоёв материала в воздушном потоке во время полёта.

На рисунке 2 представлен результат попадания молнии по зализу крыла из композита. Такая особенность разрушения объясняется термическим характером процесса, при котором происходит взрыв материала за счёт продуктов разложения связующего [5].



Рисунок 2 – Результат попадания молнии по композитной обшивке. *Источник:* <https://earth-chronicles.ru/news/2019-11-27-134920>

Для достижения электро- и теплопроводности, близкой к металлическим материалам, на поверхность конструкций из углепластика могут быть нанесены металлические молниезащитные покрытия.

Основные принципы создания металлических молниезащитных покрытий для конструкций из углепластиков:

- 1) дробление проходящего канала молнии для изоляции других компонентов;
- 2) повышение электропроводности нанесённого поверхностного слоя обшивок и панелей;
- 3) повышение рабочей температуры деструкции матрицы;
- 4) создание многовекторности растекания электрического разряда, например, включение в работу 2-го слоя ткани или создание трансверсальной электропроводности;
- 5) включение металлических молниезащитных покрытий в расчёт прочности и жёсткости [5].

В настоящее время интенсивно разрабатываются различные методы газотермического напыления металлов на поверхность деталей. Поверхностные металлические плёнки или адгезионные плёнки толщиной в несколько десятков мкм защищают углепластиковые элементы конструкции от горения дугового пятна.

Один из методов защиты основан на перемещении пятна по мере выгорания металлического покрытия. Увеличение толщины слоя покрытия нежелательно, так как повышает риск прямого контакта вспышки дуги с углепластиком. Токопроводящие покрытия используются для выравнивания электрического потенциала поверхности композитной конструкции в разных частях. Они также могут служить дополнительной защитой от точечного горения дуги.

Для отвода сильных токов и тепла, возникающих при ударе молнии, в слоистую структуру композитных материалов добавляются сплошные металлические плёнки. На рисунке 3 показана структура композитного материала, содержащая слой металлической фольги [4].

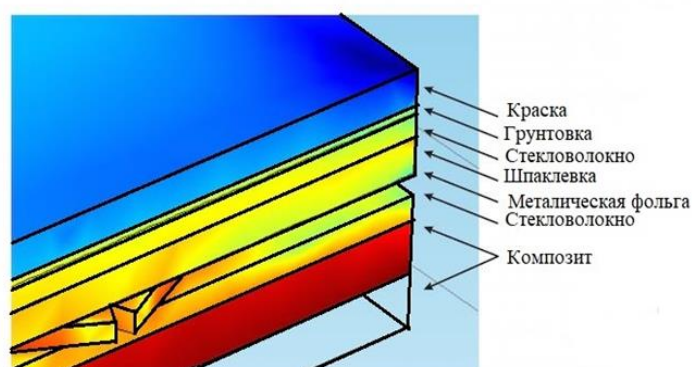


Рисунок 3 – Структура композитных материалов со слоем цельнотянутой металлической фольги. *Источник: <https://www.comsol.ru/blogs/protecting-aircraft-composites-from-lightning-strike-damage/>*

Поверх металлической фольги наносится слой покрытия (грунтовка, краска, стекловолокно) для защиты металлической фольги от влаги и атмосферных воздействий, которые могут вызвать коррозию. Коррозия металла приводит к ухудшению проводимости, в результате чего снижается степень



защиты конструкции самолёта от ударов молнии. Колебания температуры, характерные для циклов взлёта и посадки, могут привести к образованию трещин в защитном покрытии снижая его эффективность [2].

Следующий метод защиты – металлическая сетка. При производстве на композитный материал наносится мелкаячеистая сетка, позволяющая перемещаться электрическому току равномерно по всей площади. В месте попадания молнии в самолёт электричество эффективно распространяется по всему самолёту. Использование молниезащитного покрытия на основе металлической сетки снижает повреждения углепластиковой конструкции от многих воздействий.

Армирующая трикотажная сетка из медной проволоки диаметром 50-150 мкм широко используется в конструкции композитных деталей самолёта. Данная сетка представлена на рисунке 4. Сетчатые полотна необходимой ширины и структуры изготавливаются на специальных вязальных машинах. Варьируя параметры сетки, можно в определённых пределах управлять анизотропией механических и электрофизических свойств [2].

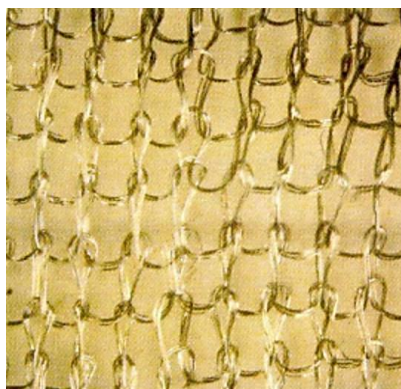


Рисунок 4 – Полотно из микропроволоки. *Источник: <https://7ink.ru/fBBIj>*

Основная идея углеродных молниезащитных покрытий для углепластиков заключается в использовании композитных покрытий, которые входят в состав углепластиков и входят в расчёт их прочности. В качестве токопроводящего слоя используются материалы на основе высокопрочных углеродных волокон.

Для более быстрого рассеивания энергии в случае удара молнии слои углеродной ткани в проводящем слое специально ориентированы под углом от  $-30^\circ$  до  $+60^\circ$  друг к другу. Между слоями углеродной ткани расположены поперечно армирующие углеродные волокна, которые соединяют отдельные слои многослойным плетением или сшиванием, при этом количество поперечно армирующих волокон составляет 1-5 на см. На рисунке 5 представлена схема такого плетения, цифрами обозначено следующее: 1 – углеродные наномодификаторы, 2 – углеродные волокна токопроводящего слоя, 3 – трансверсально-армирующие углеродные волокна, 4 – полимерная матрица токопроводящего слоя, 5 – диэлектрический слой – полимерная матрица углепластиковой конструкции, 6 – углепластиковая конструкция [2].



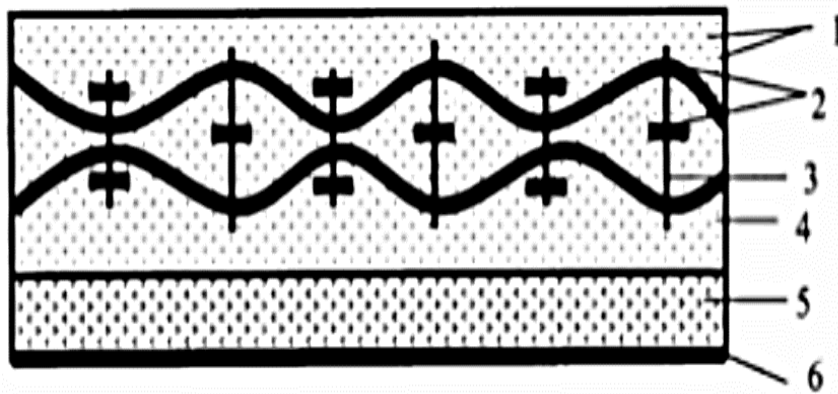


Рисунок 5 – Углеродное молниезащитное покрытие. *Источник:*  
<https://7ink.ru/fBBIj>

Экспериментальные результаты, проведённые авторами данного патента, показывают, что предлагаемое углеродное молниезащитное покрытие является хорошей защитой углепластиковых конструкций на внешних обводах самолёта с максимальным значением тока переходного заряда молнии  $I=200$  кА и зарядом  $Q=20$  Кл [7].

В качестве примера для рассмотрения проблемы молниезащиты композитных материалов был взят материал, который используется в крыльях самолёта МС-21. Он содержит полиэфирное волокно различной линейной плотности, в зависимости от назначения нетканых материалов. Этот материал помогает распределять воздух при формировании пакета и соответственно распределять клеевые смеси.

Изготовление композитного материала начинается с загрузки полиэфирного волокна, которое изготавливается из пластиковых бутылок и нефти. В процессе переработки специальные машины разрыхляют сырьё для формирования нитей. На следующем этапе сырьё перемещается по трубам мощными вентиляторами. Участие работников здесь минимальное, операторы только задают параметры в виде управляющей программы для персонального компьютера и следят за процессом, а все остальное – дело техники. Конвейер укладывает разрыхлённый материал в несколько слоёв, далее их сшивают без ниток, специальные иглы с зубринами переплетают собственные волокна в толще полотна. Образцы каждой партии тщательно проверяют на разрывной машине.

На основе процесса создания композитного материала для крыла самолёта МС-21 предлагаем гипотезы, которые позволят немного модернизировать или изменить процесс изготовления полотна с применением металлических нитей после этапа сшивания.

Анализ разных источников и информации показал, что для металлизации композитных материалов и конструкционных элементов лучше всего использовать нити из меди, так как они получаются тоньше, чем из других материалов, имеют хорошую проводимость и при этом затраты на них меньше, чем у серебряной нити.

Первая гипотеза основывается на возможности вплетения металлических нитей на этапе создания композитных волокон. После этапа перемещения материала по трубам в полученный разрыхлённый материал будут вшиваться медные нити диаметром 0,3-0,4 мм. Принцип вшивания нити будет основан на процессах работы швейной машины. Схема такого вшивания изображена на рисунке 6. Далее после создания материала, композитные элементы будут создаваться по той же технологии. В результате получится волокно хоть и большей плотности, но с достаточно высокой электропроводимостью без излишнего теплового нагрева. Вшивание таких нитей в конструкцию позволит равномерно распределять заряд по всей детали.

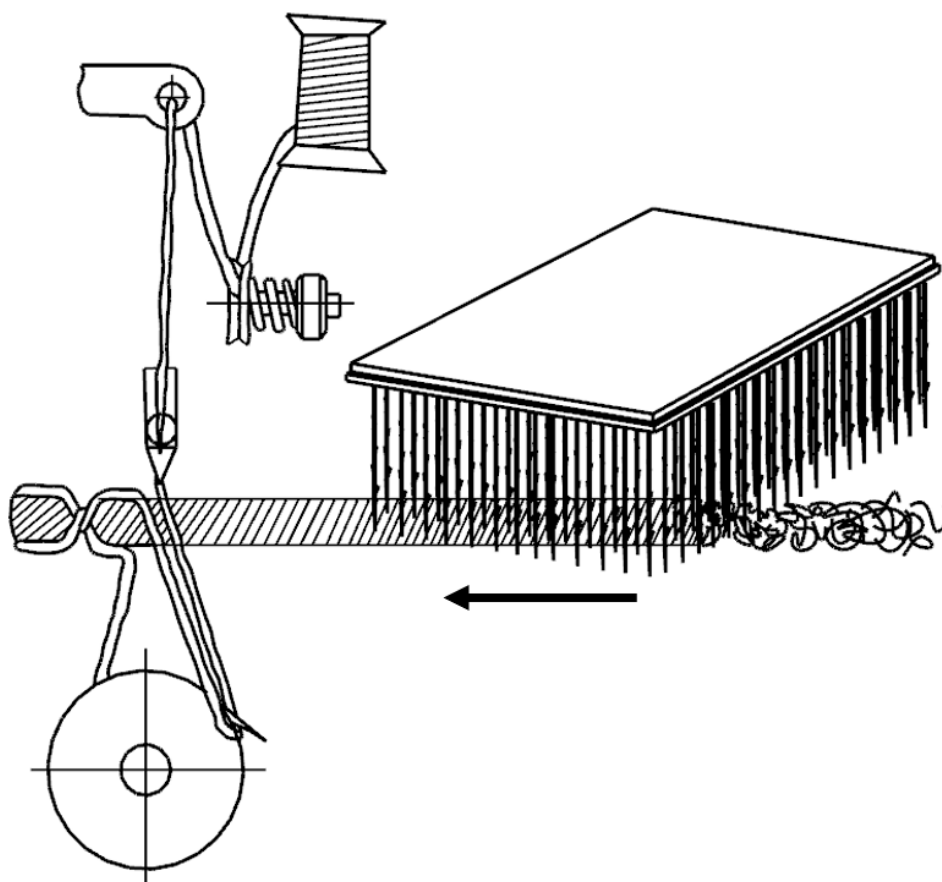


Рисунок 6 – Схема вшивания медных нитей в волокно

Вторая гипотеза предполагает на этапе сухой выкладки нитей (слоёв) добавлять в каждый слой медную проволоку. Такой способ подойдет при создании панели консоли крыла. Роботизированная установка для сухой выкладки углеродного наполнителя, перемещаясь, выкладывает волокна композита совместно с медными нитями, как показано на рисунке 7. Медная нить выкладывается с очерёдностью через 3-4 нити углеродного волокна. Сам по себе результат будет схож с первым методом, но проходит без изменения самой нити. Для реализации потребуется серьезная модернизация оборудования с дополнительной подачей проволоки из меди без чрезмерного нагрева.

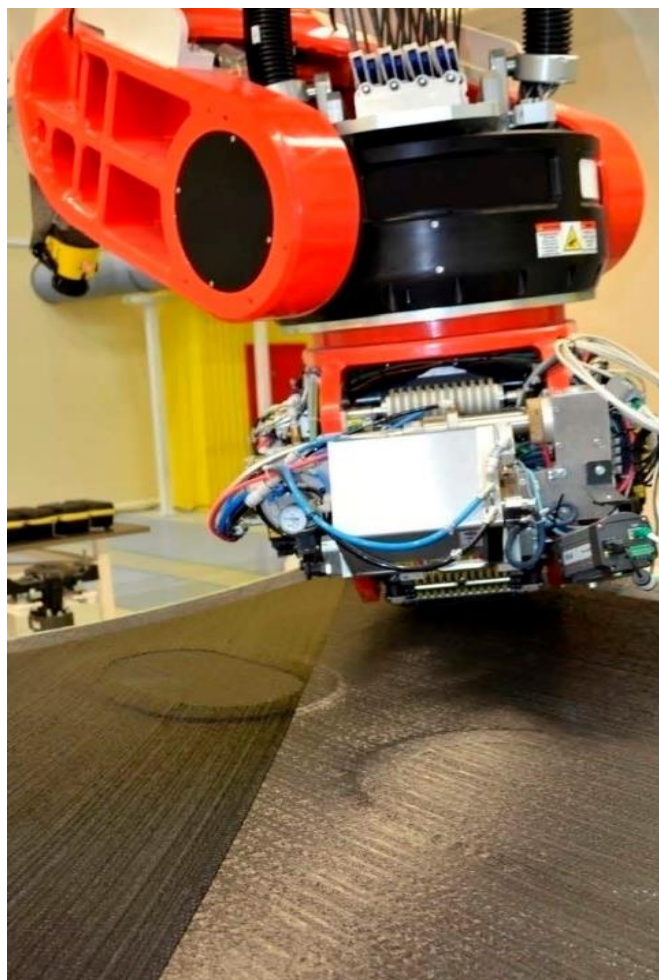


Рисунок 7 – Роботизированная установка для сухой выкладки углеродного наполнителя. *Источник: <https://sdelanounas.ru/blogs/126581/>*

При этих способах металлизации композитных конструктивных элементов обязательно должны остаться без нитей первый и последний слои для осуществления герметизации.

Достоинства применения гипотез:

1. Технология прошивки средних слоёв изолирует металлические нити и предотвращает возможные возгорания;
2. Отсутствие потери прочности;
3. Большое количество металлических нитей смогут равномерно распределить электрические заряды по всей площади крыла;
4. Технология может применяться как противообледенительная система;
5. По сравнению с другими способами молниезащиты толщина детали не увеличится.

Недостатки применения гипотез:

1. Усложнение применяемого в производстве оборудования;
2. Перерасчёт конструкции панели на прочность;
3. Незначительное увеличение веса конструкции;
4. Дороговизна нового оборудования;
5. Возможность разрыва медной нити.

В результате анализа имеющейся информации выявлена проблема молниезащиты композитных элементов и рассмотрены методы её решения.

Применение композитных материалов имеет большие перспективы по причине меньшей массы, большей прочности и коррозионной стойкости. Проблемы молниезащиты решаются следующими методами:

1. Молниезащитное покрытие с использованием фольги или металлического напыления;
2. Покрытие мелкой медной или алюминиевой сеткой;
3. Углеродные молниезащитные покрытия.

Но у них есть свои недостатки.

Выдвинутые гипотезы возможной модернизация композитного материала могут помочь решить проблему молниезащиты. Описанные методы возможно улучшат молниезащиту и удешевят производство.

Проведенный анализ в данной области и предложенные гипотезы решения проблемы станут основой дальнейших практических исследований по данному направлению.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lightning Strikes: Protection, Inspection, and Repair // [Электронный ресурс] – URL: <https://7ink.ru/eqXvH> (дата обращения: 19.11.2023)
2. *Острик А. В., Филипенко А. А.* Молниезащита углепластиковых элементов конструкции самолёта при тепловом и механическом действиях прямого удара молнии // Институт проблем химической физики РАН, г. Черноголовка Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения, г. Хотьково.
3. *Гуняев Г. М. и др.* Молниестойкость современных полимерных композитов // [Электронный ресурс] – URL: <https://7ink.ru/ysdhJ> (дата обращения: 19.11.2023)
4. Защита авиационных композитных материалов от повреждения разрядом молнии // [Электронный ресурс] – URL: <https://7ink.ru/PiMkq> (дата обращения: 19.11.2023)
5. *Гуляев И. Н. и др.* Молниезащита и встроенный контроль для конструкций из ПКМ // [Электронный ресурс] – URL: <https://7ink.ru/AdoLM> (дата обращения 19.11.2023)
6. *Малая Е. В.* Композиционные материалы в современной авиации / Е. В. Малая, А. И. Саввин // Актуальные исследования. – 2022. – № 49-1(128). – С. 6-9. – EDN HTWSRX.
7. Многослойное молниезащитное покрытие: патент / Г. М. Гуняев, С. И. Ильченко, В. В. Кривонос, Г. В. Начинкина, Е. Н. Каблов, Т. Н. Кавун, О. А. Комарова // [Электронный ресурс] – URL: <https://7ink.ru/uTfRR> (дата обращения: 19.11.2023)
8. Молниезащита самолётов // [Электронный ресурс] – URL: <https://7ink.ru/HiLIO> (дата обращения: 19.11.2023)
9. *Тимошков П. Н. и др.* Особенности технологии и полимерные композиционные материалы для изготовления крыльев перспективных самолётов // [Электронный ресурс] – URL: <https://7ink.ru/hiskj> (дата обращения: 19.11.2023)
10. *Молчанов Б. И.* Свойства углепластиков и области их применения / Б. И. Молчанов, М. М. Гудимов // Авиационная промышленность. – 1997. – № 3-4.
11. Что такое композитный материал в авиации // [Электронный ресурс] – URL: <https://7ink.ru/seiwU> (дата обращения: 19.11.2023)

## ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В УСЛОВИЯХ СИЛЬНОЙ ЗАПЫЛЕННОСТИ

Курочкин С. О., Рябчинская П. Д.

Левшонков Н. В., канд. техн. наук  
(научный руководитель)

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А. Н. Туполева – КАИ  
(г. Казань)*

**Аннотация.** Данная статья рассматривает вопросы особенностей эксплуатации авиационных двигателей в условиях сильной запыленности. Рассматриваются способы защиты силовых установок и их элементов от эрозионного воздействия частиц пыли и песка. На основе изложенной информации сделаны выводы об эффективности защиты элементов двигателя от эрозионного воздействия.

**Ключевые слова:** сильная запыленность, эрозионное воздействие, обеспылевание, методы защиты ГТУ.

На данный момент авиапарк всех стран насчитывает от 20 тысяч самолетов до 30 тысяч, в зависимости от методов подсчета. Все эти самолеты эксплуатируются в разных регионах, с разными климатическими условиями соответственно. Нередки случаи попадания воздушных судов в песчаные и пыльные бури (ППБ), но более частым случаем является эксплуатация летательных аппаратов в условиях повышенной запыленности окружающего воздуха, а также их эксплуатация в зонах с повышенными температурами.

В Российской Федерации по данным с 2001 по 2019 год была зарегистрирована 521 пыльная буря. Преимущественно на территории Поволжья (Ульяновск, Казань, Самара, Саратов, Волгоград, Астрахань) и южной части Российской Федерации (Ростов-на-Дону, Анапа, Краснодар, Ставрополь, Махачкала, Нальчик). По этим данным можно сделать вывод, что воздушные суда, эксплуатируемые в данных регионах, наиболее подвержены негативному влиянию запыленности воздуха.

Данные условия оказывают влияние на безопасность пилотирования, так как в условиях пыльной бури не обеспечивается необходимая для пилотирования видимость, на элементы силовой установки и планера летательного аппарата. Помимо пыльных бурь опасность представляет общая запыленность аэродрома.

У большинства современных самолетов силовые установки располагаются достаточно низко, что приводит к засасыванию в двигатель пыли и более крупных частиц с взлетно-посадочной полосы, что приводит к преждевременному выходу из строя лопаток компрессора и турбины.

В сухую погоду после взлета летательного аппарата на взлетно-посадочной полосе остается пыльное облако, которое может стать как причиной

ускоренного износа элементов силовой установки, амортизационных стоек шасси и лакокрасочного покрытия, так и аварии, произошедшей из-за недостаточной видимости при рулении на аэродроме.

Основными негативными последствиями воздействия пыли и более крупных частиц, например, песка, являются:

- Эрозионное воздействие на лопасти компрессора, лопасти несущего винта, винты самолетов, обтекатели антенн, обшивку фюзеляжа, воздухозаборники и другие детали;

- Абразивный износ амортизационных стоек шасси

Пыль и песок, попадающие в двигатель, наносят серьезный ущерб, в первую очередь, рабочим лопаткам, лопаткам направляющих аппаратов компрессора и другим элементам проточной части двигателя. Возникающие от данного явления проблемы могут изменяться от аэродинамических изменений в межлопаточных каналах, чрезмерной вибрации вследствие дисбаланса вращающихся компонентов, до механического разрушения лопаток компрессора, а также вероятного теплового отказа компонентов турбины из-за блокирования охлаждающих отверстий. Также, в зависимости от состава почвы вблизи аэродрома, наблюдаются отложения на лопатках компрессора. Данные проблемы приводят к значительному ухудшению характеристик компрессора и турбины, снижению их производительности и надежности, увеличению потребляемой мощности, смещению границы помпажа компрессора в сторону его рабочей зоны, что является причиной ухудшения характеристик двигателя в целом и в худшем случае может привести к полному отказу двигателя.

Аналогичному износу подвержены лопасти несущего винта вертолетов, винты поршневых и турбовинтовых самолетов, обтекатели (антенн, подкосов, неубирающегося шасси и других элементов), лакокрасочное покрытие на летательном аппарате. Подверженные эрозионному воздействию элементы с течением времени теряют свои аэродинамические качества, что может вести к ухудшению качества летательного аппарата, что приведет к повышенному расходу топлива.

Абразивный износ амортизационных стоек шасси происходит вследствие продолжительной эксплуатации их в условиях повышенной запыленности путем налипания абразивных частиц (песок и другие мелкие частицы) на масляную пленку штока амортизатора. При дальнейшей работе амортизатора (прямой и обратный ход) частицы постепенно въедаются в маслоъемный сальник и подвергают абразивному износу шток, что приводит к царапинам и задирам на покрытии, которые являются причиной течей масла и потери давления в амортизаторе.

Данные явления отражают необходимость использования дополнительного оборудования или проведения специальных мероприятий для уменьшения воздействия пыли и более крупных частиц на элементы летательного аппарата.

В данной работе будут рассмотрены средства по снижению запыленности на взлетно-посадочной полосе (обеспыливание ВПП), метод комбинированной защиты газотурбинного двигателя от воздействия дисперсных частиц.

## **1. Обеспыливание взлетно-посадочной полосы**

На данный момент могут применяться несколько видов осаждения пыли и частиц на грунтовых и бетонно-асфальтовых взлетно-посадочных полосах:

- Обеспыливание с помощью воды;
- Обеспыливание с помощью воды с пенообразователями;
- Обеспыливание с помощью водно-полимерных составов.

Обеспыливание с помощью воды является самым старым, но наиболее простым и дешевым способом осаждения пыли на аэродромах. Вода в этом случае распыляется с помощью специальных пушек или же с помощью машин с баком для жидкости и системой распыления. К основным недостаткам следует отнести непродолжительность действия, так как при испарении воды снова образуется пыльная взвесь над поверхностью ВПП.

Обеспыливание с помощью воды с пенообразователями – это развитие предыдущей технологии, которая позволяет получить ряд существенных преимуществ: большая площадь контакта воды с частицами пыли, повышенная активность смачивания (поскольку в пенном состоянии снижается поверхностное натяжение пленок воды), возможность обеспечения длительного эффекта.

При обеспыливании с помощью водно-полимерных составов используются специализированные составы, использование которых позволяет закрепить пыль и крупные частицы на грунте и прочих покрытиях. Так при обработке составом подобного типа эффект может достигать 2 месяцев. Однако при интенсивном использовании ВПП обработка должна производиться чаще из-за износа покрытия. Немаловажным условием эффективной работы данного метода борьбы с запыленностью является обработка прилегающих к аэродрому территорий для исключения переноса пыли и других частиц на взлетно-посадочную полосу.

## **2. Метод комбинированной защиты ГТУ от воздействия дисперсных частиц**

Атмосферный воздух, затягиваемый в силовую установку летательного аппарата, не является абсолютно чистым из-за содержания твердых или жидких аэрозолей. Их источниками могут являться почвенная пыль, пыльца семян и растений.

Фракционный состав и концентрация частиц естественной пыли зависят от типа почвы и скорости ветра. Мелкодисперсная пыль распределяется в приземном слое воздуха равномерно. В периоды пыльных и песочных бурь количество крупных частиц резко возрастает.

Метод комбинированной защиты заключается в использовании для предотвращения повреждения газотурбинного двигателя в условиях сильной запыленности с помощью нескольких основных способов:

- Установка воздухоочистительного устройства на входе или непосредственно в проточной части ГТУ;

– Нанесение на лопадки ионно-плазменных конденсированных эрозионно-стойких покрытий.

Различают три основных типа пылезащитных устройств: центробежного, инерционного и барьерного.

Рассмотрим работу пылезащитного устройства на примере ПЗУ, установленного на двигателях вертолета Ми-8 (Рис. 1).

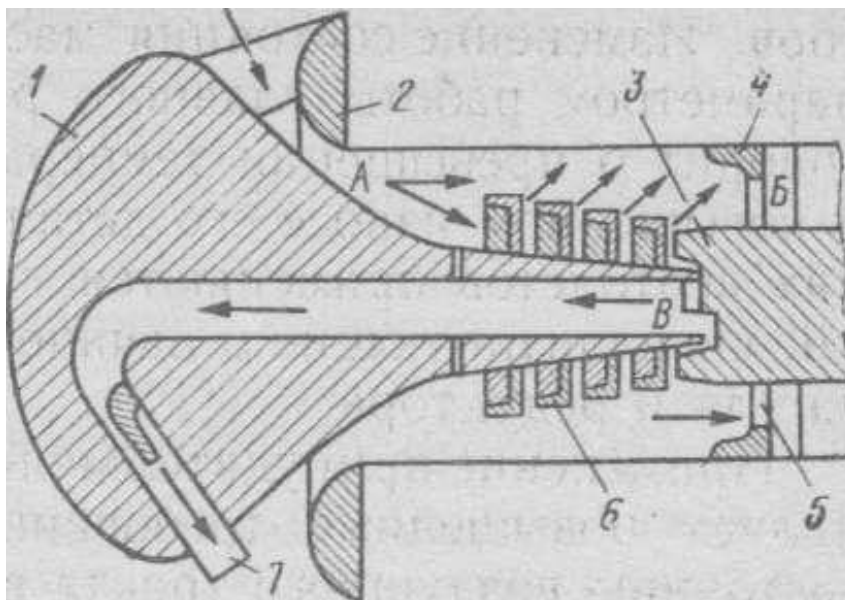


Рисунок 1 – Конструкция ПЗУ: 1 – эжектор; 2 – обтекатель; 3 – коллекторная губа; 4 – внешняя обечайка; 5 – входной тоннель; 6 – сепаратор; 7 – трубопровод вывода пыли. *Источник: <https://stydopedia.ru/5x11bf.html>*

При работе двигателя из-за разрежения, создаваемого им, воздух засасывается в канал А – криволинейный туннель, образованный обтекателем 2, коллекторной губой 3 и внешней обечайкой 4. Далее под действием центробежных сил частицы пыли прижимаются к поверхности обтекателя, постепенно перемещаясь вместе с частью воздуха, попадая на вход сепаратора 6 в канал Б, который является пылевой ловушкой. Значительная часть ранее запыленного воздуха, очистившись в первой ступени пылезащитного устройства, проходит по каналу Б, который образован внешней обечайкой 4 и сепаратором 6, проходит на вход двигателя. Меньшая часть запыленного воздуха, проходящая через сепаратор 6, очищается в нем за счет поворота потока в криволинейных межколыцевых каналах, поступает в канал Б, откуда поступает на вход в двигатель. Воздух с наибольшим содержанием пыли поступает в канал В и далее в трубопровод вывода пыли 7, где он выбрасывается благодаря разрежению, создаваемому эжектором 1, в атмосферу за пределы вертолета.

При использовании пылезащитного устройства данного типа можно достичь показателей очистки воздуха в пределах от 70% до 80%.

Основным преимуществом является низкий добавочный вес. Также конструкция не сильно осложняет доступ для обслуживания двигателя.



Вакуумно-дуговое нанесение покрытий – метод нанесения покрытий в вакууме, путем конденсации на подложку материала плазменных потоков, образующихся на катоде-мишени в катодном пятне вакуумной дуги. В данной работе будут рассматриваться результаты, полученные в ВИАМ при использовании ИП установок МАП-1м, МАП-2 и МАП-3.

При нанесении на железохромоникелевый сплав (ЭП718-ИД) и титановый сплав (ОТ4-1) карбида хрома и нитрида циркония соответственно удалось достичь значительного уменьшения эрозионного износа (Рис. 2).

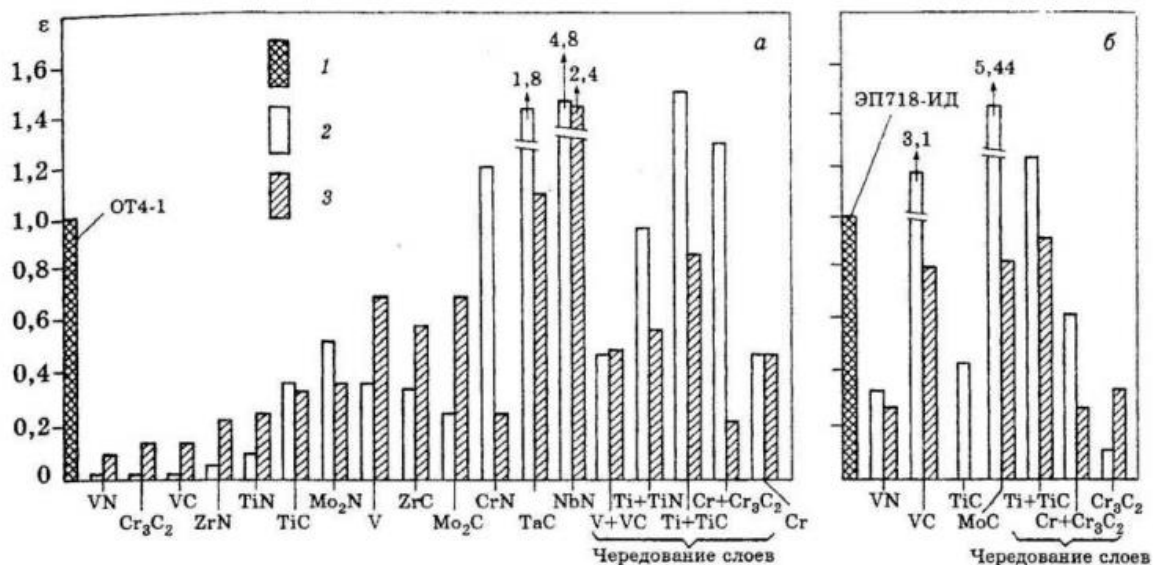


Рисунок 2 – Относительный эрозионный износ  $\varepsilon$ : 1 – без покрытия, эрозионная стойкость сплавов принята за единицу; 2 – с покрытием при  $\alpha = 20^\circ$  (угол атаки пылевоздушной смеси); 3 – с покрытием при  $\alpha = 70^\circ$

На основе вышеизложенных данных можно сделать заключение о необходимости обеспечения мер по обеспыливанию ВПП с целью снижения рисков образования пыльного облака, которое может привести к возникновению чрезвычайной ситуации. Также данное мероприятие положительно сказывается на увеличении ресурса силовой установки летательного аппарата из-за уменьшения эрозионного износа лопаток турбины компрессора.

Применение комбинированных средств защиты ГТУ позволяет значительно увеличить ресурс двигателя в условиях сильной запыленности путем уменьшения количества проходящих через тракт двигателя пыли и других частиц. Дополнительное использование защитных покрытий на лопатках компрессора понижает эрозионный износ лопаток, вызванный оставшимися в воздухе частицами.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Еникеев Г. Г. Комплексная защита газотурбинного двигателя, эксплуатирующегося в запыленной атмосфере и морской среде // Вестник УГАТУ. – 2013. – Т.17, №3(56). – С. 41-48.
2. Методы защиты авиационных ГТД от вредных воздействий окружающей среды в эксплуатации / А. Ш. Биксаев, Н. С. Сенюшкин, Р. Р. Калимуллин, М. В. Белобровина // Технические науки: традиции и инновации : Материалы II Международной научной конференции, Челябинск, 20–23 октября 2013 года / Издательство "Два комсомольца". – Челябинск: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство Молодой ученый", 2013. – С. 54-56. – EDN SWKFTE.
3. Гишваров А. С. Исследование эффективности пылезащитных устройств вертолетных газотурбинных двигателей / А. С. Гишваров, Р. Р. Аитов, А. М. Айтумбетов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2015. – Т. 19, № 2(68). – С. 100-110. – EDN VYWUTD.
4. Ионно-плазменные защитные покрытия для лопаток газотурбинных двигателей / Е. Н. Каблов, С. А. Мубояджян, С. А. Будиновский, А. Н. Луценко // Металлы. – 2007. – № 5. – С. 23-34. – EDN IBFAEV.
5. Влияние пыльных и песчаных бурь на работу авиационного транспорта и оценка условий их возникновения на аэродромах европейской части России / А. Р. Иванова, Е. Н. Скриптунова, Н. И. Комасько, А. А. Завьялова // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2020. – № 4(378). – С. 78-95. – DOI 10.37162/2618-9631-2020-4-78-95. – EDN VXPUTL.
6. Ерасов В. С. Эрозионная стойкость авиационных материалов к воздействию твердых (пылевых) частиц / В. С. Ерасов, Е. А. Котова // Авиационные материалы и технологии. – 2011. – № 3(20). – С. 30-36. – EDN RXQVLV.

УДК 629.7

### ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПРЕДЕЛЬНО НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Курочкин С. О., Шипулин А. Е.

Левшонков Н. В., канд. техн. наук  
(научный руководитель)

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А. Н. Туполева – КАИ  
(г. Казань)*

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются особенности эксплуатации авиационных двигателей в условиях Западной Сибири, Арктики и других регионов при температуре окружающего воздуха  $-40^{\circ}\text{C}$  и ниже. Представлены виды подготовительных мероприятий для безотказного запуска двигателей воздушных судов при данных температурах. Даны рекомендации по выбору устройств для подогрева двигателей.

**Ключевые слова:** температура окружающего воздуха, безотказный запуск, предпусковой подогрев, универсальный мобильный подогреватель.

Эксплуатация авиационных двигателей при низких и предельно низких температурах предусмотрена указом Президента Российской Федерации от 26.10.2020 г. №645 о стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности до 2035 года. В нем было отмечено несколько важных пунктов:

- Оснащение медицинских организаций, оказывающих первичную медицинскую помощь авиационным транспортом для доставки пациентов в медицинские организации, медицинских работников до места жительства пациентов, а также для доставки лекарственных препаратов в населенные пункты, расположенные в отдаленных местностях, в том числе в местах традиционного проживания малочисленных народов;

- Совершенствование механизмов субсидирования магистральных, межрегиональных и местных (внутрирегиональных) авиаперевозок;

- Разработка наземных транспортных средств и авиационной техники для работы в природно-климатических условиях Арктики.

Российская Федерация является самой большой по занимаемой площади страной. Большая часть страны лежит в умеренном климатическом поясе, остальные части лежат в арктическом, субарктическом и субтропическом поясах по уменьшению площади соответственно.

Российская федерация разделена на четыре основные и одну особую природные зоны. Особой же является Арктика, занимающая около 22% площади всей страны, на которой проживает примерно 1,63% населения.

Так годовая амплитуда температур в Западной Сибири, которая располагается в зоне субарктического и арктического климатического пояса, находится в пределах 40-45°C. Среднегодовая температура может достигать отметку в -10°C, а минимальная до -40°C.

Такие показатели минимальной температуры показывают, что в данной зоне имеют место быть специализированные подготовительные мероприятия при эксплуатации воздушных судов: хранение воздушных средств в отапливаемых ангарах, подогрев двигателей с помощью мобильных подогревателей или установка нагревательных элементов на двигатель.

Так температура, при которой обязательным является предпусковой подогрев двигателя выбирается из условий вязкости используемого масла в двигателе и конструктивных особенностей самого двигателя.

Обеспечение предпускового подогрева на поршневых двигателях необходимо осуществлять при температуре окружающего воздуха ниже +5°C из-за большого количества элементов, работающих при трении скольжении. Для турбовинтовых двигателей – ниже -15°C, турбореактивных – ниже -25°C. Связано это с применением менее вязких масел и большего числа деталей, которые работают при трении качения.

Из вышеуказанных данных следует невозможность использования авиационных двигателей в условиях Арктики и на других территориях при предельно низких температурах окружающего воздуха без использования подготовительных мероприятий, указанных ранее.

Далее будут подробнее рассмотрены мероприятия для обеспечения безотказной работы двигателей летательных аппаратов при температурах  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже.

Самым эффективным является хранение воздушных судов в отапливаемых ангарах. В условиях севера данный способ поддержания необходимой для запуска температуры двигателя и масла в нем является наиболее ресурсоемким. Так как на отопление большого объема воздуха внутри ангара, с учетом тепловых потерь не теплоизолированного помещения, будет уходить нецелесообразное количество экономических ресурсов.

Поэтому разумным является хранение летательных аппаратов под открытым небом на открытых площадках. В таком случае перед запуском двигателя или же двигателей необходимо обеспечить их старт без разрушающих последствий для самого агрегата.

На данный момент существует несколько способов подогрева двигателей. Для поршневого двигателя – подогрев с помощью внешних нагревательных элементов. Для ТВД и ТРД – подогрев с помощью универсального моторного подогревателя.

Рассмотрим конструкцию и принцип действия каждого типа подогревателей по отдельности.

Первое устройство представляет собой набор из 4 или 6 нагревательных хомутов для обогрева цилиндров (Рис. 1, *Источник: <https://www.reiffpreheat.com>*) и набора из двух нагревательных пластин для подогрева масляного поддона (Рис. 2, *Источник: <https://www.reiffpreheat.com>*). Нагревательные хомуты устанавливаются на предварительно подготовленную поверхность цилиндра (зачищенную от краски и обезжиренную) с помощью эпоксидных составов, регламентированных производителем – Aramco 568 и JB Weld (Рис. 3). Аналогично устанавливаются и нагревательные пластины на масляный поддон. После чего производится укладка проводов и вывод вилки питания к легкодоступному при стоянке самолета месту.

Данный тип подогревательной системы может использоваться на легких самолетах при не слишком низких температурах окружающего воздуха, так как заявленный производителем нагрев цилиндров и масла за 12 часов, при начальной температуре  $\approx -7^{\circ}\text{C}$ , составил  $23^{\circ}$  и  $47^{\circ}$  соответственно.

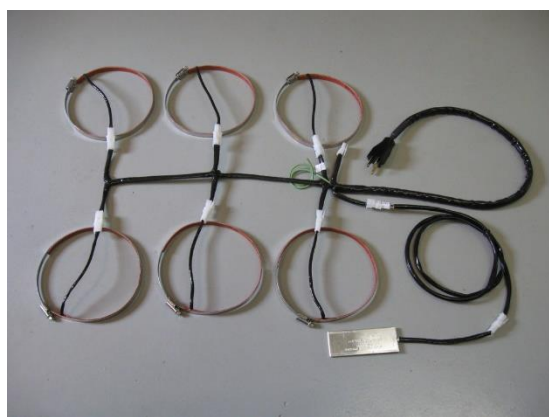


Рисунок 1



Рисунок 2



Рисунок 3. *Источник: <https://www.reiffpreheat.com>*

Главное достоинство данной конструкции – возможность установки без вмешательства в конструкцию двигателя (внешний монтаж) и ремонтпригодность. Для безотказной работы рекомендуется проводить внешний осмотр нагревательных элементов и элементов проводки каждые 100 моточасов.

Основным недостатком является низкая мощность.

В качестве второго устройства рассматриваются мобильные подогревательные УМП (универсальный мобильный подогреватель). УМП подразделяются на два основных типа: 1) калориферные; 2) безкалориферные. Основным отличием этих двух типов нагревателей является способ нагрева воздуха, которым обогревается оборудование. В калориферном подогревателе воздух подогревается самим калорифером и на выходе не имеет каких-либо примесей продуктов горения. В безкалориферном подогревателе нагрев воздуха происходит горючей смесью бензина/дизеля/метана. Для подогрева двигателей летательных аппаратов следует использовать калориферные УМП для исключения большего засорения элементов двигателя продуктами горения топлива. Также использование такого типа подогревателей позволяет одновременно осуществлять как подогрев двигателей, так и подогрев салона воздушного средства, что особенно актуально при перевозке людей, нуждающихся в медицинской помощи.

Рассмотрим конструкцию и принцип работы данных систем на примере УМП-400 на базе Камаз 43502 с механическим приводом центробежного вентилятора. Устройство представляет собой колесное шасси 4×4 Камаз 43502-3036-66 с установленным подогревателем УСТ 54535 (Рис. 4). Мощность подогревателя составляет 400 кВт, расход топлива – 5-35 л/ч, количество и длина каждого рукава – 12 и 6 м соответственно, температура воздуха на выходе из рукава – 70 - 110°C.





Рисунок 4. *Источник: <https://www.uralst.ru>*

Принцип работы воздухонагревателя заключается в передаче тепла от калорифера атмосферному воздуху. Тепло, необходимое для нагревания воздуха выделяется при сжигании топлива в камере сгорания калорифера. Воздух в калорифер подается по раструбу к рукавам центробежным вентилятором с механическим приводом ременного типа. Вентилятор установлен сразу за кабиной машины, воздух в основном забирается слева из пространства между кузовом и кожухом вентилятора. Ременной привод через кардан подключен к коробке отбора мощности на автомобиле.

Для работы двигателя автомобиля и горелок калорифера в данной модели используется дизельное топливо, а не авиационный керосин, что значительно удешевляет стоимость использования установок такого типа, а также решает проблему доступности авиационного топлива в отдаленных участках нашей страны.

Для подогрева двигателя УМП располагается вблизи воздушного судна, но не ближе 3 метров от крайних его точек для обеспечения пожарной безопасности при подогреве. Время подогрева зависит от температуры окружающего воздуха, при температуре  $-(30 - 40^{\circ}\text{C})$  примерное время обогрева составляет 1 час 30 минут, при температуре ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ - более двух часов. При сильном ветре требуемое на обогрев увеличивается. Для уменьшения временных затрат применяют чехлы и заглушки для двигателей. При этом необходимо открыть воздушные заслонки двигателя для обеспечения циркуляции воздуха внутри него.

В заключение необходимо указать, что при использовании любого, из приведенных, устройства для подогрева двигателя, его следует заземлять для исключения возникновения искры, способной привести к пожару. Рассмотренный первым вариант подогрева цилиндров с помощью

нагревательных элементов подходит для маломоторной авиации, используемой не при предельно низких температурах, исходя из максимальной мощности. Универсальные мобильные подогреватели являются более универсальным средством, так как могут закрыть потребность подогрева как легкой авиации, так и средних и тяжелых самолетов, базирующихся или пребывающих на данном аэродроме. При этом экономические расходы на топливо будут составлять значительно меньшую часть от общих расходов на аэродромное обслуживание, по сравнению с использованием отапливаемых ангаров.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбунов В. П. Проблемы эксплуатации современных самолетов в условиях низких и сверхнизких температур Сибири, Севера и Арктики / В. П. Горбунов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2014. – № 204. – С. 110-114. – EDN SJFZIJ.
2. Смирнов Н. Н. Техническая эксплуатация летательных аппаратов. Учебник. – М.: Транспорт, 1990. – 424 с.
3. Дмитриев В. Мобильные подогреватели // Основные средства. – 2004. – №4.
4. Дмитриев В. "Стюардесса" для ВВС // М-Хобби. – 2004. – №3. – С. 22-26.
5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 14 июля 2022 года) Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ:18.

УДК 629.7

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЖАРОСТОЙКОСТИ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ ГТД

Лопатин Н. А., Коновалов Н. Н.

Шушарин В. А.  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** В современном авиационном двигателестроении остро стоит вопрос о повышении эффективности и долговечности двигателей. Одной из ключевых проблем является обеспечение жаропрочности и жаростойкости лопаток турбины. В данной статье рассмотрены применение теплозащитных покрытий как эффективного метода повышения жаростойкости лопаток к экстремальным температурам, технологии их нанесения.

**Ключевые слова:** теплозащитное покрытие (ТЗП).

Применение теплозащитных покрытий (ТЗП) позволяет повысить температуру газа при сохранении ресурса лопаток. Они обеспечивают снижение теплопритока к основному материалу лопатки. К типичным покрытиям, применяемым для защиты деталей ГТД, работающих в условиях

повышенных температур, относятся теплозащитные покрытия (ТЗП) состоящие из жаростойкого (ЖС) и термобарьерного (ТБ) слоев. Жаростойкий слой служит для защиты детали от окисления, а термобарьерный слой – для защиты от высокой температуры. Поэтому в практике высокотемпературной защиты деталей под теплозащитным покрытием понимают композицию «ЖС+ТБ».

Условия работы деталей газовых турбин и разрушающие факторы, действующие на поверхности деталей, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Условия эксплуатации поверхности деталей газовых турбин

Область использования	Разрушающие факторы			
	Окисление	Горячая коррозия	Диффузионный обмен	Термоусталость
Авиационные двигатели	жесткие	умеренные	жесткие	Жесткие
Энергетические генераторы наземного базирования	умеренные	жесткие	умеренные	легкие

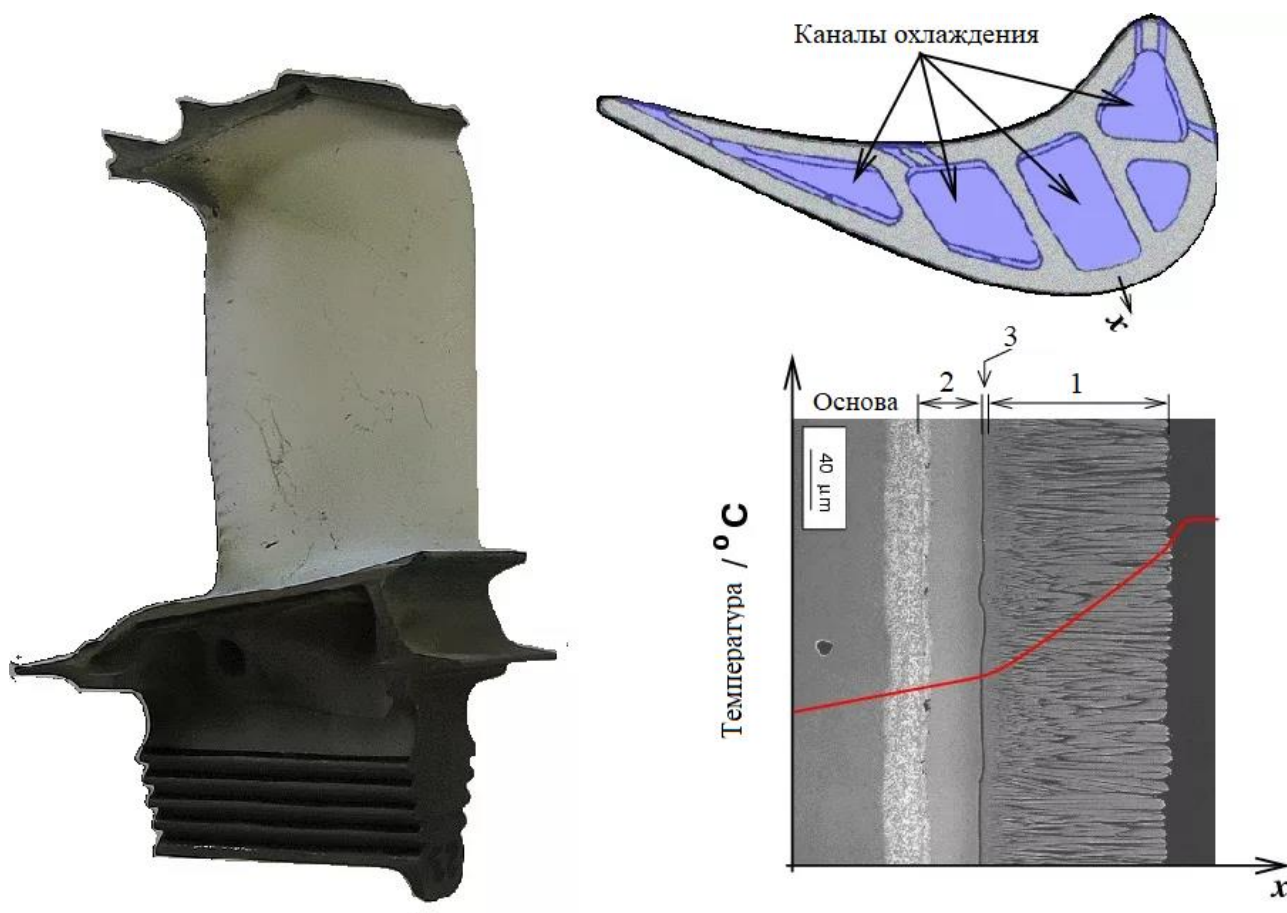


Рисунок 1 – Теплозащитное покрытие лопатки турбины высокого давления с градиентом температур: 1 – термобарьерный слой; 2 – жаропрочный слой; 3 – термически растущий оксид



Покрытия, наносимые на лопатки турбин ГТД, должны в течение заданного для турбины ресурса защищать поверхность лопаток от разрушения. Для этого материал покрытий должен отвечать ряду требований:

- высокая жаростойкость, т.е. способность противостоять высокотемпературному окислению и взаимодействию с составляющими окислительной атмосферы  $N_2$ ,  $H_2$  в рабочем интервале температур;
- стойкость в агрессивных средах атмосферы продуктов сгорания топлива (сульфидная коррозия, ванадиевая коррозия и др.) и способность противостоять солевой коррозии (морские ГТД);
- эрозионная стойкость, т.е. способность противостоять кавитационному воздействию струи рабочего газа и абразивных частиц окислителя (газоперекачивающие, энергетические ГТД);
- материал покрытия не должен разрушаться под действием статических и переменных напряжений, которые испытывает в процессе эксплуатации изделие;
- защитные покрытия не должны ухудшать основные механические свойства материала лопаток – жаропрочность, сопротивление термической усталости и выносливость и др. вследствие диффузионного проникновения элементов вглубь изделия;
- покрытие должно быть связано с основой в течение всего срока эксплуатации;
- различие между коэффициентами линейного расширения покрытия и основного металла должно быть минимальным, обеспечивая прочность его сцепления с металлом лопаток в эксплуатационных условиях;
- покрытие должно обладать высоким сопротивлением термоусталости, иметь достаточный для обеспечения его работоспособности уровень пластичности;
- температурная граница хрупко-вязкого перехода должна находиться ниже всего интервала рабочих температур;
- покрытие должно быть ремонтпригодным;
- применение выбранного типа покрытия должно быть экономически оправданным (с учетом стоимости нанесения и удлинения срока службы).

Покрытия, применяемые для защиты деталей газовых турбин от сульфидной, ванадиевой коррозии и высокотемпературного окисления в качестве жаростойких, теплозащитных и износостойких, можно разбить на две группы.

К первой относятся покрытия, при использовании которых изменяется состав поверхностного слоя материала путем его диффузионного насыщения различными элементами (алюминием, хромом, кремнием и др.). Эти покрытия обычно называют диффузионными.

Вторая группа объединяет различные металлические и керамические покровные покрытия, которые наносятся на материал – основу различными методами (плазменное и ионно-плазменное напыление, детонационное напыление, химическое осаждение из паров, ионное распыление, электронно-

лучевое испарение и конденсация в вакууме, вакуумно-дуговое напыление и др.)

### **Диффузионные покрытия.**

Наиболее распространенными методами получения диффузионных покрытий являются:

- твердофазное насыщение из смеси металлических порошков, содержащих галогенный активатор и инертный наполнитель (как правило – порошок  $Al_2O_3$ );
- насыщение из шликера (суспензий);
- газоциркуляционный метод.

Имеют место также методы металлизации, комбинации гальванического и диффузионного методов, методы погружения в расплав и ионной имплантации.

Алюминиды. Современные условия эксплуатации лопаток ГТД связаны с очень высокими температурами, что делает проблемы обеспечения жаростойкости достаточно актуальными. Хотя защитные свойства алюминидных покрытий и ограничены, тем не менее они еще находят достаточно широкое применение. Диффузионные алюминидные покрытия основаны на интерметаллидной композиции NiAl. Несмотря на то, что существуют различные процессы их формирования, химико-термическая обработка в контейнере является наиболее широко используемой, поскольку в результате применения этого процесса получают дешевые и качественные покрытия для малогабаритных деталей.

Хромовые диффузионные покрытия обеспечивают существенно лучшую защиту лопаток из жаропрочных сплавов, как от сульфидной коррозии, так и от эрозии по сравнению с алюминидными. Особенности диффузионного насыщения хромом:

- пониженная, по сравнению с Al скорость диффузии, в связи, с чем хромирование производится при более высоких температурах: 1100 – 1200 °С,
- высокая поверхностная твердость и повышенная по сравнению с алитированной хрупкость слоя.

### **Покровные покрытия.**

Покровные покрытия наносятся с использованием различных технологий, к которым относятся:

- осаждение из паровой фазы с испарением электронным лучом;
- плазменное напыление при низком давлении;
- вакуумное плазменное напыление;
- плазменное покрытие, наносимое в контролируемой атмосфере;
- плазменное напыление на воздухе;
- нанесение термоионных покрытий фирмы «Метко»;
- термобарьерные покрытия.

Использование современных теплозащитных покрытий позволяет достигнуть следующих эффектов:

- снижения требований к охлаждению лопатки (около 36%) при сохранении той же самой жаропрочности;
- значительного увеличения жаропрочности лопатки при сохранении режима работы двигателя (т.е. позволить лопатке работать при более низкой температуре при сохранении температуры на входе в турбину).

#### **Методы получения теплозащитного покрытия.**

ТЗП имеет жаростойкий подслой 3, нанесенный на лопатку 2 любым применяемым для этого методом (рис. 2).

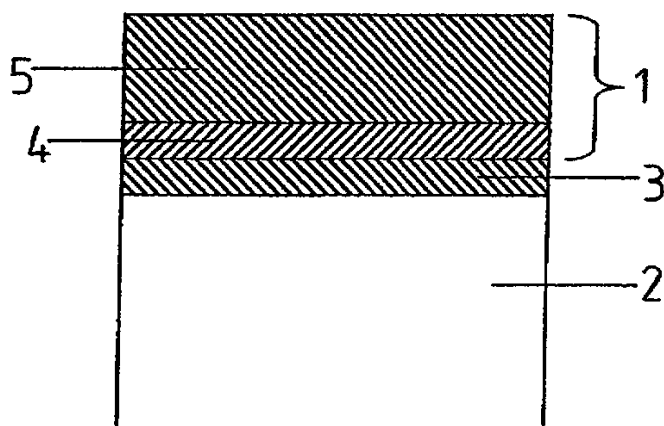


Рисунок 2 – Теплозащитное покрытие для лопатки турбины ГТД: 1 – ТЗП; 2 – лопатка; 3 – связующее покрытие; 4 – первый (жаростойкий) слой; 5 – второй (теплозащитный) слой

Керамическое ТЗП состоит из двух отдельных слоев, имеющих, по существу, одинаковый химический состав. Первый слой 4 нанесен на связующее покрытие 3, а второй – наружный – слой 5 нанесен на первый слой. Первый слой 4, который обладает относительно большей плотностью и поэтому хорошей адгезией к связующему покрытию, имеет и более высокую механическую прочность, чем второй слой 5.

Второй слой 5 по сравнению с первым слоем 4 имеет более открытую, пористую структуру. Благодаря своей пористой структуре второй слой имеет более низкую теплопроводность, чем первый слой. При этом из-за более высокой теплопроводности второго слоя его термостойкость значительно ниже, чем у первого слоя 4.

Имеющие различную микроструктуру первый и второй слои дополняют друг друга и по-разному влияют на механическую прочность и теплопроводность покрытия.

Керамическое ТЗП наносят путем плазменного напыления.

Первый слой 4 формируется на лопатке 2 или нанесенном на нее связующем покрытии 3 путем подачи в плазменную струю относительно плотных, предварительно спеченных частиц наносимого порошка. Частицы порошка, используемые для получения первого слоя 4, получают, в частности, методом агломерации и спеканием.

Частицы для образования первого слоя или по меньшей мере их существенная, предпочтительно преобладающая, часть полностью или почти полностью плавятся до удара о подложку 2 или связующее покрытие 3 и образуют плотный, не имеющий пор слой 4. Плотным считается слой, пористость которого, измеренная на оптическом микроскопе с 200-кратным увеличением, не превышает 5%.

Затем формируют второй слой 5 нанесением на первый слой частиц порошка с микроструктурой, отличающейся от микроструктуры первого порошка. Частицы порошка для получения второго слоя имеют пористую, более открытую структуру, чем частицы порошка для получения первого слоя. Для изготовления частиц порошка для получения второго слоя предпочтительно использовать агломерацию и процесс получения гомогенного сферического порошка сжиганием.

При нанесении покрытия электронно-лучевым способом материал покрытия испаряется в вакуумной камере электронным лучом и осаждается на разогретую поверхность. При этом на ней образуется покрытие в виде столбчатых, не связанных между собой волокон, по всей толщине покрытия. Нанесенное таким способом покрытие обеспечивает хорошую теплозащиту, поскольку тепло распространяется вдоль относительно длинных волокон ( $l = 100 \dots 150$  мкм) малого поперечного сечения ( $d = 1 \dots 3$  мкм). Для улучшения теплозащиты ведутся работы по повышению толщины покрытия до 250...300 мкм. Волокна имеют сечение неправильной формы. Покрытие, состоящее из отдельных столбчатых волокон, гораздо лучше работает в условиях термоциклических нагрузок. Однако оно обладает существенным недостатком: в условиях действия центробежной или вибрационной нагрузки, направление которой будет перпендикулярно оси столбчатых волокон, на них будет действовать изгибающая нагрузка, существенно превышающая предел прочности для керамики, причем она будет тем больше, чем выше волокно, а, следовательно, чем толще покрытие.

Использование многослойного высокотемпературного теплозащитного керамического покрытия, состоящего из двух или более керамических слоев, разделенных металлическими слоями, позволяет повысить стойкость теплозащитного покрытия к термическим и механическим нагрузкам. При этом материалы слоев, соединяющих керамические слои, выбирают таким образом, чтобы материал, имеющий меньший коэффициент теплового расширения, располагался в зоне действия более высоких температур, а материал, имеющий больший коэффициент теплового расширения, находился в зоне действия меньших температур. Керамические слои образованы столбчатыми керамическими волокнами, высота которых не превышает его двадцати максимальных характерных поперечных размеров.

Многослойное покрытие, нанесенное на поверхность лопатки 1 (рис. 3), состоит из слоев 2 столбчатых волокон из двуокиси циркония, разделенных слоями 3, 4, 5, жаростойких материалов, причем коэффициент температурного расширения материала 3 ниже, чем у материала слоя 4, а у материала слоя 4

ниже, чем у материала слоя 5. Столбчатое волокно слоя 2 имеет размер  $d$  поперечного сечения.

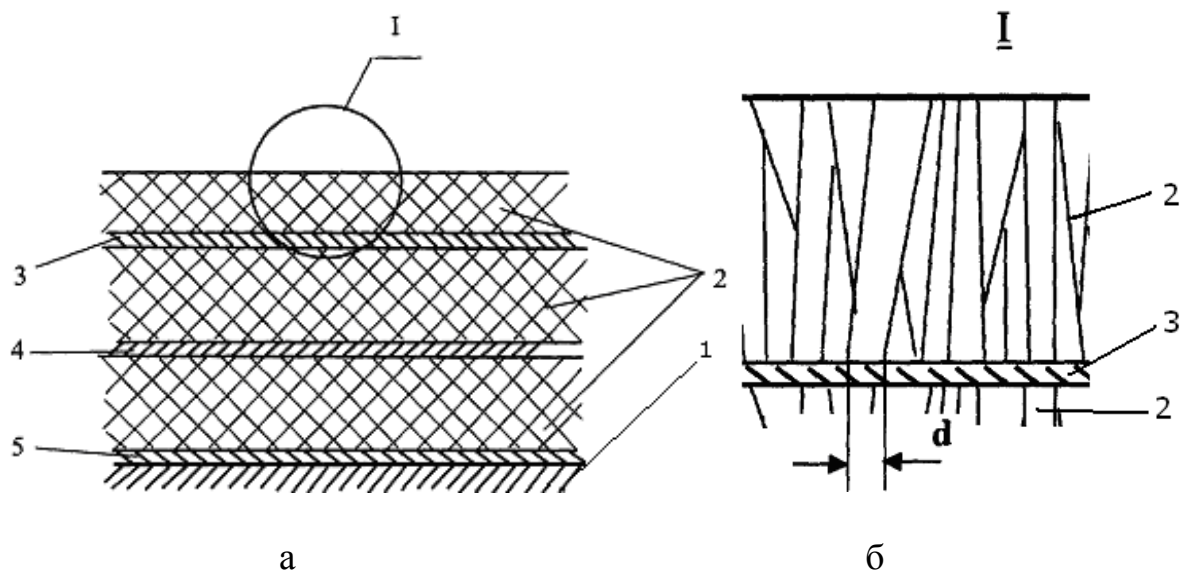


Рисунок 3 – Многослойное керамическое теплозащитное покрытие: а – схема конструкции покрытия; б – фрагмент I покрытия: керамический слой 2 покрытия с промежуточным жаростойким слоем 3; 1 – лопатка; 2 – слои столбчатых волокон из двуокиси циркония; 3, 4, 5 – слои жаростойких материалов

Жаростойкость при 1150°C сплава ЖС36-ВИ с защитным покрытием и без него приведены в табл. 2. Комплексное покрытие обеспечивает защиту сплава от окисления на базе испытаний 1000 часов, сохраняя свои защитные свойства.

Таблица 2 – Изменение массы (привес) сплава ЖС-36ВИ с теплозащитным покрытием и без теплозащитного покрытия при 1150°C на воздухе

$\tau, \text{ч}$	$\Delta m, \text{г/мм}^2$	
	с покрытием	без покрытия
50	1,5	10
100	3,8	15,6
200	6,4	23,1
400	10,5	40,1
600	12	-
1000	13,2	-

При сравнении длительная прочность образцов с комплексным покрытием (испытания при  $t = 975 - 700^\circ \text{C}$  и  $\sigma = 300 - 885 \text{ МПа}$ ) возрастает на 20 – 50% по сравнению с образцами из сплава ЖС36-ВИ без покрытия, особенно в области высоких температур и напряжений (рис. 4).

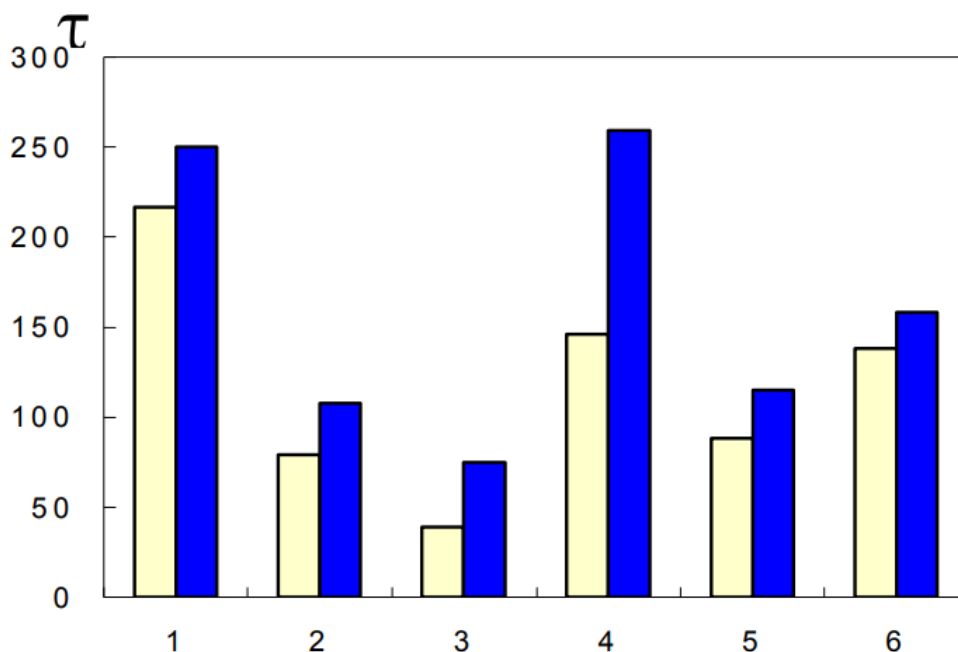


Рисунок 4 – Длительная жаропрочность сплава ЖС36-ВИ ( $\tau_p$  – среднее время до разрушения, ч) при различных температурах и напряжениях: светлые столбики – без покрытия; темные столбики – с комплексным покрытием:  
 1 –  $T = 975^\circ\text{C}$ ,  $\sigma = 300$  МПа; 2 –  $T = 975^\circ\text{C}$ ,  $\sigma = 340$  МПа;  
 3 –  $T = 975^\circ\text{C}$ ,  $\sigma = 360$  МПа; 4 –  $T = 900^\circ\text{C}$ ,  $\sigma = 475$  МПа;  
 5 –  $T = 800^\circ\text{C}$ ,  $\sigma = 725$  МПа; 6 –  $T = 700^\circ\text{C}$ ,  $\sigma = 885$  МПа.

### Заключение

Применение теплозащитных покрытий является ключевым фактором для обеспечения надежной и эффективной работы лопаток турбины, который позволяет увеличить длительную прочность образцов на 20 – 50% и обеспечивает защиту сплава от окисления по сравнению с сплавом без защитного покрытия. Комплексные покрытия используются в серийном производстве при изготовлении рабочих и сопловых лопаток ТВД современных авиационных двигателей ПС-90А2, Д-18Т, ПД-14.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чубаров Д. А. Новые керамические материалы для теплозащитных покрытий рабочих лопаток ГТД / Д. А. Чубаров, П. В. Матвеев // Авиационные материалы и технологии. – 2013. – № 4(29). – С. 43-46. – EDN PМEXUM.
2. Теплозащитные покрытия для лопаток турбин // [Электронный ресурс]. – URL: <https://studall.org/all-109346.html> (дата обращения: 03.11.2023)
3. Конструирование комплексных защитных покрытий для монокристаллических охлаждаемых турбинных лопаток современных ГТД / В. П. Лесников, В. П. Кузнецов, И. П. Конакова, Е. В. Мороз // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). – 2012. – № 3-1(34). – С. 211-216. – EDN PWOAUX.

## LASER WELDING AS A WAY TO REDUCE AIRCRAFT FUEL CONSUMPTION

Malaeva P. V.

Galyautdinova R. M.  
(scientific supervisor)

*Kazan National Research Technical University named  
after A. N. Tupolev  
(Kazan)*

**Abstract.** The article investigates the ways to reduce fuel consumption. Laser welding and its application on foreign aircraft is considered. The features of promising technologies of laser welding and friction welding with mixing of high-strength aluminum-lithium alloy B-1469 are carefully studied.

**Key words:** Fuel consumption, laser welding, friction welding with stirring, aluminum-lithium alloy B-1469

Modern aviation is developing year after year and therefore innovations in various areas of production are being introduced into production, which helps to improve the quality of service, the strength qualities of aircraft, and most importantly increase productivity. The reduction of fuel consumption also significantly affects the modernization of various aircraft.

Fuel accounts for approximately 25% of airline expenses. At the moment, a ton of aviation kerosene costs 48,000 rubles. In Russia, the dynamics of falling prices for jet fuel is observed, as well as around the world, which is a consequence of the pandemic.

Nowadays there are many different ways to reduce fuel consumption, but not all of them are applicable in aviation.

To begin with, let's look at what factors fuel consumption depends on. There are two types of fuel consumption that depend on the cruising flight mode: per hour and per km.

Hourly flow rate, which is measured in l/h:

$$C_h = \frac{C_p \cdot P_n}{\gamma}$$

where  $C_p$  – specific fuel consumption of a turbojet engine,

$P_n$  – required thrust,

$\gamma$  – specific weight of fuel.

Now let's look at what the kilometer fuel consumption depends on, which is measured in l/km:

$$C_k = C_p \cdot \frac{P_n}{v}$$

where  $C_p$  – specific fuel consumption of a turbojet engine,  
 $P_n$  – required thrust,  
 $v$  – aircraft speed.

These two formulas have the same characteristics: specific fuel consumption of a turbojet engine  $C_p$  and required thrust of the aircraft  $P_n$ .

Now let's figure out what these characteristics depend on.

Required thrust of the aircraft  $P_n$  – this is the thrust required to perform the horizontal flight mode (balancing the drag force). The formula for the required thrust looks like this:

$$P_n = \frac{G}{K}$$

where  $G$  – aircraft weight, N  
 $K$  – aerodynamic quality

From the formula we can see that the required thrust depends only on the weight of the aircraft and its aerodynamic quality [1].

Specific fuel consumption  $C_p$  characterizes the efficiency of the working process of the engine and shows how much fuel per hour must be spent at a given flight speed to create a unit of thrust. The specific fuel consumption is equal to the ratio of hourly fuel consumption to thrust.

From the above formulas, it can be concluded that the amount of fuel consumption depends on the weight of the aircraft and on the speed of the aircraft, but the key factor is the reduction in the weight of the aircraft.

It is problematic to reduce the weight of the aircraft, because this reduction can entail a number of problems related to strength in flight, during landing and takeoff, especially the unit itself experiences the greatest loads during takeoff and landing.

There are several ways to reduce fuel consumption – firstly, the use of composite materials, and secondly, the introduction of laser welding into the production of aircraft. The introduction of laser welding will not only help to reduce fuel consumption, but most importantly – it will reduce the time to create units and reduce weight.

Up to now, a huge number of aircraft parts are attached to each other thanks to the riveting method. This is the most reliable and proven way to connect aircraft parts since the birth of aviation. But since the rivets also have a certain mass, then due to them, the mass of the machine also increases, since the rivet holes do not compensate for the mass of the rivets themselves, since the part of the metal cut from the part for the hole is much smaller in mass. Therefore, laser welding is the best option for reducing the mass of the unit [2-6].

What is laser welding? Laser welding is a technology of joining metals and other materials by melting, which is produced by heating the working area with a



laser beam. The products to be welded are tightly connected to each other along the line of the future weld. The focused laser beam heats and melts the edges of the products, as a result of which the molten material fills the joint zone, penetrating into all the micro-dimensions of the materials. The laser beam and, accordingly, the melt zone move along the connection line, creating a strong, dense, narrow and deep weld. The depth of penetration of materials can be adjusted from surface to through. And in order to prevent the oxidation of metals, a gas protective medium is used in this process, which can be from gases such as argon, helium, nitrogen or from mixtures of other gases [4].

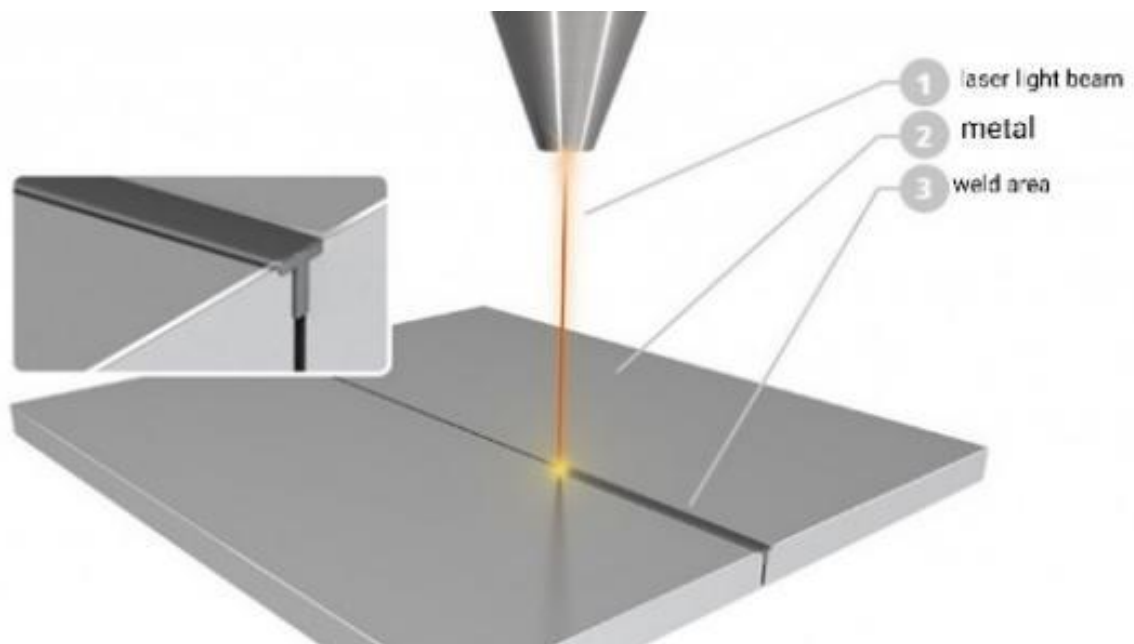


Figure 1 – The principle of operation of laser welding

This technology was first used by Airbus, which developed a serial technology for welding the lower fuselage panels for the A318 narrow-body aircraft, and a year after the application, a similar technology was introduced in the production of other aircraft of the company.

On our domestic medium-haul passenger aircraft Tu-214, this metal compound is not used yet, since the seams do not meet the strength conditions.

The mass of an empty Tu-214 aircraft is 59,000 kilograms. If laser welding is introduced into the production of this type of equipment, at least, as in the Airbus A318, in the lower fuselage panel, then this mass could become less.

How is welding performed on Airbus A318 aircraft? Studies in the field of creating welded fuselage panels [7] have shown that it is most appropriate to use such modern connection technologies as laser welding and friction welding with mixing – a small heat input minimizes residual stresses and deformations. Alcoa has carried out work to assess the possibility of using alloy 2099 panels using these technologies.

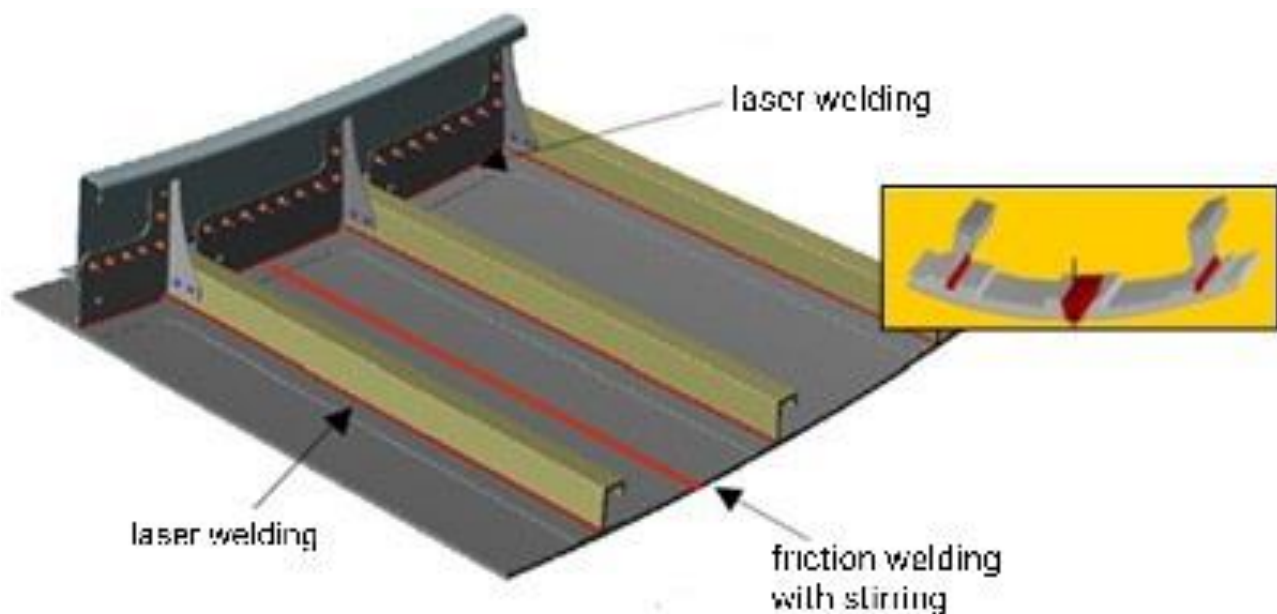


Figure 2 – A variant of manufacturing a welded fuselage panel

According to the test results of these panels, you can see a significant difference in weight reduction, as well as an increase in load-bearing capacity due to the implementation of the welded panel concept [8].

The equipment makes it possible to weld panels up to  $11 \times 2.5$  m in size and up to 1 m deep with a laser beam (two CO<sub>2</sub> lasers) (Fig. 5). In addition, laser welding is used only in the fuselage elements (and only in the lower panels). According to EADS research, the use of welded structures in the side and upper panels, as well as in the tail and wings does not meet the requirements for tensile and shear strength, which ultimately affects the operational safety of the aircraft.

Experiments of a foreign aircraft manufacturing company [9] show that welding of skin-string structures is characterized by strict requirements for workspace and positioning accuracy – traditional robotic systems of small and medium sizes are not suitable for this purpose. The requirements for the technical characteristics and layout of the laser welding complex may be different for different types of parts. For the manufacture of panels, it is recommended to use a two-beam laser installation with 10 positioning axes, ideally suited for production purposes. This installation is equipped with an industrial computer that provides the implementation of the technology of compensation of deviations in the welding process. The advantages of double-beam welding are the reduction of its duration and minimization of welding deformations.

The use of welded structures in the lower panels of the skin allows you to unload its upper panels by 20% while increasing the efficiency of the lower panels up to 15%. In addition, thanks to the use of a monolithic sheet, corrosion resistance and crack resistance are significantly increased.

The production of welded fuselage elements using modern welding technologies allows to improve the weight efficiency by 10% by eliminating overlapping joints and rivets. Therefore, the development of technological processes

for laser welding and friction mixing welding of aluminum-lithium alloy B-1469 is a very urgent task.

The study [10] was carried out on a semi-finished sheet of aluminum-lithium alloy B-1469 with a thickness of 1.8 mm. As the initial heat treatment before welding, quenching with artificial aging was used according to such modes that provide high viscosity of the material and resource, which is advisable for welded structures intended for operation in the fuselage elements of civil aircraft.

One of the tasks in the development of technologies is to obtain the maximum strength and service life of the weld, as well as the residual strength of the base metal. This approach makes it possible to eliminate the time-consuming and often unrealizable heat treatment operation, which is due not so much to the large dimensions of the fuselage elements, but rather to the deterioration of the structure of the base material both after repeated hardening and after repeated aging.

In preparation for the laser welding process, the surface of the samples was subjected to dimensional chemical etching with the removal of the surface layer to a depth of 0.1 mm on each side of the sample and lightening in a thirty percent  $\text{HNO}_3$  solution. Before welding, the end surface of the edges to be welded, the front surface and the surface from the melt side at a distance of 5-10 mm from the edge were cleaned with a scraper to a metallic sheen. This method of surface preparation allows you to avoid welding defects, primarily porosity.

Laser welding was carried out on a Laserworld 8R60 installation with local argon protection of the seam zone. Friction welding with mixing was carried out on a modified vertical milling machine. A serial tool manufactured by JSC "VNIALMAZ" with a shoulder diameter of 12 mm and a tip length of 1.6 mm was used as a tool for welding with friction mixing. This operation was carried out by controlled deepening of the tool into the material of the workpieces by 0.5 mm on a titanium lining with a forming groove. When preparing the surface before the STP, chemical etching was used, and for overlapping joints, scraping of the overlap site.

The characteristics of short-term strength, static bending angle and impact strength were determined according to GOST 6996-66 and GOST 1497-84. The microstructure was studied using a Leica DM-IRM microscope. Tests for low-cycle fatigue (MCU) were carried out on the Walter LFV-100 installation + Bai AG according to GOST 25.502-79 ( $\sigma_{\max}=157$  MPa, asymmetry coefficient  $R_s=0.1$ ).

When welding, the process of forming a seam of homogeneous composition is important, which ensures high quality of welded joints, the required mechanical properties and minimization of residual stresses. To ensure that the characteristics of the material being welded and the seam metal match, it is most often recommended to use an additive material of the same composition as the main one, or close to it. However, in the case of alloys of the Al-Cu-Li system, such an approach is not advisable due to the low resistance to the formation of hot cracks. Therefore, for this class of alloys, FSUE "VIAM" has developed additive materials based on the Al-Cu alloy system with additives of effective modifiers, including rare earth metals [11, 12].

Laser welding of sheets was performed in pulsed mode, which allowed to reduce heat input and stabilize the process. Sv-1221 wire with a diameter of 1.2 mm

was chosen as an additive material. The quality of welded joints was evaluated during visual inspection of the formation of the weld, as well as during metallographic inspection.

Testing and selection of ranges of technological parameters for LS (maximum and minimum laser beam power in pulsed mode, welding speed, beam focusing) of butt joints ensuring the absence of welding defects and permissible seam formation according to GOST EN 4678-2016: laser radiation power  $W=1500-2500$  W; welding speed  $V=0.02-0.06$  m/s; defocusing of the laser beam  $\Delta F=0-40$  mm.

Based on the results of varying the values of the technological parameters of one and two passes of the HP in the specified ranges, two modes were selected that ensure optimal formation of the weld and differ in linear energy ( $q_p$ ).

## REFERENCES

1. *Belkin V. A.* "On the problem of increasing the fuel efficiency of civil aircraft" / Scientific Bulletin of MSTU GA 2015. 6 p.
2. Doc 10013. Operational capabilities to reduce fuel consumption and emissions. 1st ed. Montreal: ICAO, 2014.
3. The plane is going, the engines are standing [Electronic resource]. – URL: <http://aviaglobus.ru/2013/01/05/5144>
4. *Ignatov A.G., Kozlov A.V., Skripchenko A.I., etc.* Laser technological equipment for processing materials. – L.: TsNII RUMB. 1988. 118 p.
5. *Gudkov A. I., Leshakov P. S., Raikov L. G.* External loads and strength of aircraft. – M.: Oborongiz, 1963.
6. *Zhytomyr G. I.* Aircraft design: textbook for students of aviation specialties of universities. – M.: Mechanical engineering, 2005.
7. *Lukin V. I., Kulik V. I., Betsofen S. Ya., Lukina E. A., Sharov A. V., Panteleev M. D., Samorukov M. L.* Friction welding with mixing of semi-finished products of high-strength aluminum-lithium alloy B-1469 // Proceedings of VIAM: electron. sci.-tech. journal. 2017. No.12 (60). 2 p.
8. *Kablov E.N., Antipov V.V., Klochkova Yu.Yu.* Aluminum-lithium alloys of a new generation and layered aluminum-fiberglass plastics based on them // Non-ferrous metals. 2016. №8 (884). 86-91p.
9. *Prasad N. E., Gokhale A. A., Wanhill R. J. H.* Aluminum-Lithium Alloys. Processing, Properties, and Applications. Elsevier Inc., 2014. 555-558 p.
10. *Kablov E. N.* Innovative developments of FSUE "VIAM" of the State Research Center of the Russian Federation on the implementation of "Strategic directions for the development of materials and technologies of their processing for the period up to 2030" // Aviation materials and Technologies. 2015. №1 (34). 3-33 p.
11. *Skupov A. A., Panteleev M. D., Ioda E. N.* Structure and properties of welded joints of alloys B-1579 and B-1481 made by laser welding // Proceedings of VIAM: electron. sci.-tech. journal. 2017. №7 (55). 07 p.
12. *Lukin V. I., Ioda E. N., Panteleev M. D., Skupov A. A.* Features of laser welding of high-strength aluminum-lithium alloys // Proceedings of VIAM: electron. sci.-tech. journal. 2016. №10 (46). 07 p.

## УПРАВЛЕНИЕ ПОГРАНИЧНЫМ СЛОЕМ ЗАКОНЦОВОК КРЫЛА БОЛЬШОЙ СТРЕЛОВИДНОСТИ ПУТЁМ ВИХРЕВОГО ЕГО ОТСОСА

Мудриченко Р. Е.

Даниленко Н. В., канд. техн. наук  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** Крыло воздушного судна (ВС) в полёте подвергается силовому воздействию набегающего потока воздуха. В процессе силового взаимодействия с набегающим потоком оно создаёт потребную воздушному судну подъёмную силу  $Y_a$ , сопровождаемую противоречивым индуктивным сопротивлением  $X_{ai}$ , требующим затрат реактивной тяги  $P$ , создаваемой работой газотурбинного двигателя. Указанное противоречие усиливается срывом потока воздуха обтекаемой спинки крыла. С ростом стреловидности крыла зона срыва потока смещается к его законцовкам, характеризующимся более несущими свойствами. Концевой срыв потока сопровождается активным ростом индуктивного сопротивления и на повышенных углах атаки провоцирует тенденцию к сваливанию самолёта на противоречивое крыло с потерей его устойчивости входом в «штопор». Аэродинамике известны многие способы борьбы со срывом потока, базирующиеся на управлении вихревым пограничным слоем. Анализ обтекания крыла указал на возможность управления концевым срывом естественным отсосом в ядро вихря законцовок крыла.

**Ключевые слова:** стреловидное крыло, вязкий срыв, концевой срыв, ядро вихря, естественный отсос пограничного слоя.

### **Введение**

Первая попытка авиационного использования подъёмной силы крыла принадлежит А. Ф. Можайскому [1]. В 1882 г. его самолёт «Жар-птица» «оторвался от земли, пролетел небольшое расстояние по прямой и сел». Ныне очевидны первые противоречия краткого полёта самолёта А. Ф. Можайского. К ним относят малую мощность парового двигателя и полёт на малой скорости. Следовательно, фактом противоречия стала недостаточность располагаемой мощности паровой силовой установки при активном росте индуктивного сопротивления крыла в процессе удаления самолёта от подстилающей поверхности земли с её эффектом зеркального отображения. Это противоречие присуще первому полёту планеристов. Они, увеличивая угол атаки, тормозили планер и входили в режим быстрого его приземления.

**Анализ истории планеризма.** Признанным автором планеризма (полёта без мотора) стал лётчик Германской империи Карл Вильгельм Отто Лилиенталь [2], совершивший более двух тысяч планерных полётов. Им практически подтверждена возможность полёта в режиме планирования на безмоторном летательном аппарате, а также установлено противоречие в потребности разработки системы управления.

Разрешение указанных противоречий продолжили братья Райт [3] на самолётах с поршневым двигателем внутреннего сгорания. Ими предложена

система управления самолётом, давшая возможность пилотам обеспечить устойчивый управляемый пилотируемый полёт посредством новых аэродинамических рулей. Система управления самолётом сняла старые и породила новые противоречия. Выход самолёта на срывные режимы обтекания крыла сопровождался не только ухудшением подъёмной силы, ростом индуктивного сопротивления, но и грубой посадкой. В пилотируемом полёте на больших углах атаки локальные срывы потока у спинок несущих поверхностей провоцировали сваливание самолёта на крыло и вход его в «штопор», иногда завершившийся авиационной катастрофой [4]. Основоположником теории штопора стал профессор, д. т. н. В. С. Пышнов, раскрывший его аэродинамику и предложивший эффективный метод вывода самолёта из этого режима полёта.

Дальнейшее развитие аэродинамики трансзвуковых скоростей потребовало от учёных преодоления волнового кризиса и сверхзвукового барьера. Это противоречие решено посредством уменьшения относительной толщины профиля крыла, острых передних кромки и увеличения угла стреловидности крыла « $\chi$ ». Появились новые противоречия, определяемые инерционным отрывом потока с острых передних кромок, а также смещением зоны вязкого срыва потока со спинки крыла от комлевой части в сторону его законцовок. Последнее противоречие сказалось на потере несущих свойств поверхности спинки крыла, эффективности его элеронов и управления ВС.

**Решение проблемы подавления вязкого срыва потока.** Известны способы управления вязким срывом потока в зоне положительных градиентов давления, определяемые:

- принудительным сдувом пограничного слоя в зоне положительных градиентов давления;
- принудительным отсосом пограничного слоя (ПС) крыла с его спинки в зонах формирования срывной вихревой активности;
- природой интерференционного перемещения вихрей к передней кромке крыла по его спинке навстречу основному воздушному потоку.

Эти способы управления ПС крыла на срывных углах атаки – энергозатратны. Следовательно, требуется разрешение и этого противоречия.

Поиск нового технического решения сводится к задачам вихревой газовой динамики стоковых потоков в окружающей атмосферной среде – вихрей, смерчей (торнадо) и циклонов средних широт.

В техногенной среде подобные стоковые течения возникают в более доступных техногенных средах стоковых течений перед воздухозаборниками силовых установок (СУ) при работе их газотурбинных двигателей (ГТД) на земле на максимальных и близких к ним режимах.

Рабочий процесс указанных естественных вихревых газодинамических явлений (смерчей и циклонов) средних географических широт сравнительно прост. В поле притока солнечной радиации локальные пойменные места земной поверхности, содержащей влагу, быстро прогреваются и становятся источниками испарения воды. Индикатор испарения воды – инверсия пара, переходящего в локальные туманы. Образовавшийся пар, взяв на себя скрытую

теплоту парообразования (ПО), обладая плотностью, силой Архимеда, поднимается на высоту с более низкой температурой. Охлаждаясь, пар входит в режим инверсии, становится видимым, образуя кучевое облако. При отсутствии ветра облако, нависшее над источником ПО, входит в режим возврата скрытой теплоты парообразования на этапах перехода пара в воду и воды в лёд. Подогретая среда «*материнского облака*» поднимается силой Архимеда на большую высоту. Облако входит в режим работы диполя, засасывая новые порции влаги со стороны земли. Под облаком у поверхности земли формируется течение «*мнимого стока*». Сток есть, но стоковый поток у земли уходит в сторону материнского облака (МО). При этом в поле действия суточного вращения Земли потенциальный приземный стоковый поток подвергается воздействию кориолисова ускорения. Отклоняющая сила Кориолиса закручивает стоковый поток в циклоническом (по вращению Земли) направлении, создавая стартовую вихревую активность, устойчиво замкнутую на подстилающую поверхность. Именно этот стоковый участок земли является не только генератором вихревой активности стока, замкнутой на поверхность раздела сред, но и аккумулятором образующихся вихрей, засасываемых вихрестокком материнского облака в его «тепловую газодинамическую машину». Под материнским облаком в зоне максимального поджатия вихревых струек формируется естественная вихревая трубка. При малой высоте расположения облака ( $H_{обл} = 2 \dots 5 D_{обл}$ ) её тело устремляется вниз и замыкается на подстилающую поверхность земли, приобретая устойчивое состояние и форму в виде вихря, смерча (торнадо и др.). Поверхность трубки вихря – непротекаемая. Движение потока вне её оси – тангенциальное, подчинённое закону Био-Савара (1) и носит характер гиперболы [5].

$$c_{\tau} = \frac{\Gamma}{2 \pi r} = f(\Gamma, r), \text{ м / с.} \quad (1)$$

Здесь:  $c_{\tau}$  – тангенциальная скорость потока, генерируемая вихрём « $\Gamma$ »;

$\Gamma$  – напряжение (циркуляция) вихря;

$r$  – удаление исследуемой точки от продольной оси вихря (вихревой трубки) вне его (её) поверхности на исследуемое расстояние;

$\pi = 3,14$  – тригонометрическая константа.

Анализ естественных вихрей, смерчей, циклонов и атмосферных фронтов показал, что их рабочий процесс имеет сходство с рабочим процессом техногенных вихрей стокового типа под воздухозаборниками при работе ГТД на максимальных режимах, а также с вихрями законцовок несущих поверхностей и наплывов крыла самолётов, создающих подъёмную силу воздушного судна в полёте.

Анализ указанных свойств смерчей, вихрей перед воздухозаборниками при работе ГТД на земле и вихрей законцовок крыла в полёте наводит на необходимость поиска путей использования их подсасывающей силы для исключения срыва потока со спинки крыла в полёте на посадочных углах атаки.

Совместный анализ закона и уравнения Био-Савара (1) [5] с уравнениями термодинамики [6] и теории газотурбинных двигателей [7] о неразрывности

течения газа (2), сохранения энергии газа (3) и Бернулли (4) потребовал ряд исследований свойств вихря крыла в зоне концевого срыва потока у его спинки.

Совместим уравнение (1) Био-Савара с уравнениями неразрывности и сохранения энергии движения газа.

Уравнение неразрывности установившегося течения газа

$$\rho_i c_i F_i = \text{const}, \quad (2)$$

где  $\rho_i$ ,  $c_i$  и  $F_i$  – плотность, скорость и площадь поперечного сечения струйки газа.

Уравнение сохранения энергии установившегося движения газа

$$i_1 + \frac{c_1^2}{2} \pm L_{\text{вн}} \pm Q_{\text{вн}} = i_2 + \frac{c_2^2}{2}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}, \quad (3)$$

где:  $i$  – энтальпия газа;  $c_1^2 / 2$  – кинетическая энергия газа;  $L_{\text{вн}}$  и  $Q_{\text{вн}}$  – внешняя механическая работа и теплота энергообмена газа с внешней средой.

Линеаризованное уравнение Бернулли [5]

$$p_n^* = p_{\text{ст}i} + \frac{c_i^2}{2} = \text{const}_i, \quad (4)$$

где:  $p_n^*$  – полное давление струйки тока газа в невозмущённом потоке;  $p_{\text{ст}}$  – статическое давление газа в  $i$ -м сечении струйки тока;  $c_i^2 / 2$  – кинетическая энергия газового потока.

Находим, для энергетически изолированной ( $L_{\text{вн}} = Q_{\text{вн}} = 0$ ) исследуемой струйки тока существует кинематическая взаимосвязь статического давления  $p_{\text{ст}i}$  и кинетической энергии  $c_i^2 / 2$ , представленные уравнениями (1-4) и Рис. 1.

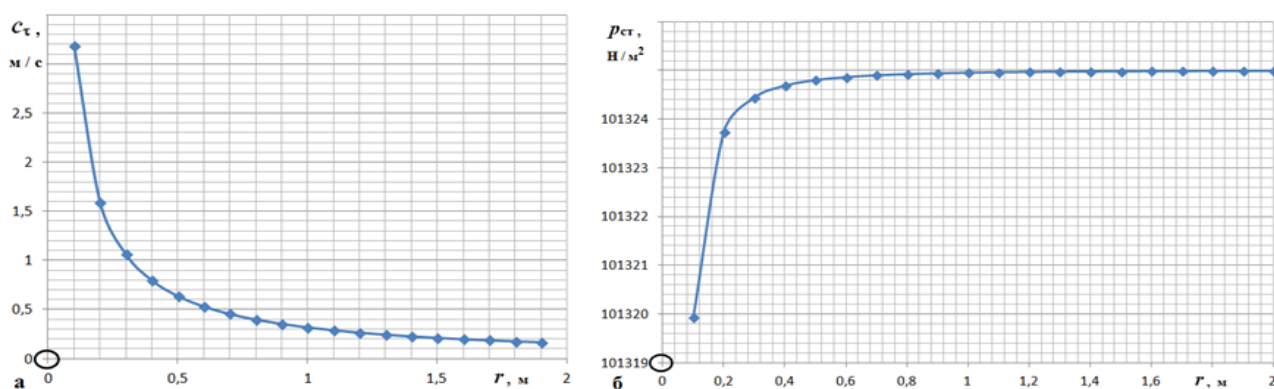


Рисунок 1– Зависимость скорости  $c_t$  (а) и давления  $p_{\text{ст}}$  (б) от радиуса  $r$  у вихря

Как видим, гиперболическая связь  $p_{\text{ст}} = f(c_t$  и  $\Gamma)$  очевидна. Она подтверждена графиками, представленными на Рис. 1. Рост тангенциальной скорости «  $c_t$  » сопровождается активным снижением статического давления «  $p_{\text{ст}}$  » частичек газа в поле предполагаемого стокового течения торцевого



вихря, замкнутого на подстилающую поверхность законцовок (наплывов) крыла и других вихреобразующих поверхностей. Наличие таких вихрей подтверждают полёт самолётов ГА и пилотажной группы «Стрижи» (Рис. 2).



Рисунок 2 – Торцевые вихри крыла (а). *Источник:* [https://cs6.pikabu.ru/post\\_img/2017/08/16/10/1502903279123789279.jpg](https://cs6.pikabu.ru/post_img/2017/08/16/10/1502903279123789279.jpg); закрылков (б), *Источник:* [https://cs6.pikabu.ru/post\\_img/2017/08/16/10/1502903279123789279.jpg](https://cs6.pikabu.ru/post_img/2017/08/16/10/1502903279123789279.jpg); и истребителей (в), *Источник:* <https://avatars.mds.133andex.net/i?id=8d933ae9c2049fcf6936fc31be7c94c6615c4a-10878446-images-thumbs&n=13/>

Выявленная взаимосвязь  $p_{ст} = f(c_{т} \text{ и } \Gamma)$  требует проведения экспериментов на модели крыла в аэродинамической трубе. Возможен положительный эффект. Он может быть реализован на модели крыла, перфорированного в зоне концевой срыва потока по его спинке и по торцевой поверхности законцовок крыла с образованием канала отсоса срывного пограничного слоя по внутренней полости крыла к телу концевой вихря.

**Модель управления пограничным слоем законцовок крыла.** Теоретическое обоснование положительного решения управления пограничным слоем стреловидного крыла, предложенное выше, требует экспериментальной проверки достоверности нового технического решения. Стоит задача создания малогабаритной экспериментальной установки и проверки её крыла на наличие положительного эффекта в аэродинамической трубе.

Внешний вид малогабаритной установки с моделью законцовки стреловидного крыла представлен на рис. 3.

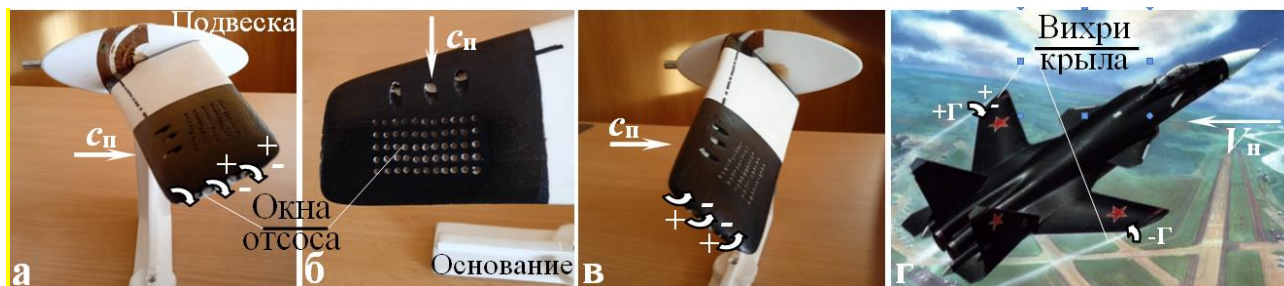


Рисунок 3 – Экспериментальная установка исследования вязкого срыва потока со спинки законцовки стреловидного крыла в случаях: **а** – отрицательные углы атаки; **б** – рабочая часть стреловидного крыла; **в** – положительные углы атаки; **г** – торцевые вихри самолёта с крылом обратной стреловидности. *Источник:* <https://i.ytimg.com/vi/LH8jBH41Y-8/maxresdefault.jpg/>

Вероятно, метод аэродинамической дымовой визуализации зоны вязкого срыва потока у спинки крыла покажет ожидаемый результат.

**Результаты экспериментальных исследований.** Экспериментальная установка для модели крыла с изменением углов атаки и стреловидности представлена на Рис. 4.



Рисунок 4 – Экспериментальная установка исследования отсоса пограничного слоя у спинки поверхности крыла в районе его законцовок

Для сравнения результатов визуализации крыла при различных условиях был выбран режим безотрывного обтекания при нулевом угле атаки (Рис. 5).



Рисунок 5 – Режим безотрывного обтекания спинки крыла при нулевом угле атаки с отсосом и сливом отсасываемого пограничного слоя через торцевую перфорацию в окружающую среду

Обтекание крала на срывных режимах атаки ( $\alpha = 20 \dots 25^\circ$ ) сопровождается появлением слабого подковообразного вихря (Рис. 6).



Рисунок 6 – Слабозаметное проявление вихревой активности у спинки крыла

На сверхкритических углах атаки над поверхностью спинки образуется слабозаметная тонкостенная дымовая пелена (Рис. 7). Пограничный слой тонкий без явной вихревой активности. Наблюдается выброс дыма из окон бортовой кромки. Сход вихревой пелены с задней кромки тангенциальный без отрыва потока.



Рисунок 7 – Характер обтекания законцовки крыла на больших сверхкритических углах атаки

Анализ полученных результатов даёт право утверждать об их достоверности. Но автор работы принял решение на дополнительную их проверку визуализацией срывного потока методом шелковинок и щупа с бусинкой, подвешенной на нити у концевой стенки крыла.

Были произведены доработки модели крыла с внедрением локальных шелковинок и щупа с бусинкой, представленных на Рис. 8 в виде исходной модели в статичном состоянии (Рис. 8 а) и в процессе эксперимента (Рис. 8 б, в)



Рисунок 8 – Управление срывным режимом законцовок крыла: **а** – модель в покое; **б** – малый угол атаки; **в** – срывной угол атаки

Как видим, обтекание крыла плавное и безотрывное, а шелковинки стабильно выстроены по направлению местной скорости и безотрывно огибают поверхность спинки законцовки крыла. Положение бусинки устойчивое с мало амплитудной циркуляцией от вращения вихря в пределах полтора её диаметра.

Проведенный эксперимент подтвердил достоверность предшествующего эксперимента. На сверхкритических углах атаки вихревой отсос даёт плавное обтекание поверхности спинки законцовки крыла. А бусинка показывает наличие циркуляции потока у торцевой стенки его законцовки.

## Заключение

Предложен метод управления вязким срывом потока у законцовок стреловидного крыла путём использования комплексной перфорации и вихревого отсоса пограничного слоя разрежением торцевого вихря.

Дано математическое обоснование рабочего процесса устранения срывных течений методом индукции на базе вихревой подсосывающей силы.

Экспериментально доказана достоверность предполагаемых и полученных результатов с их положительным эффектом.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иванов Владимир*. Первый русский самолёт. [Электронный ресурс]. – 2023. URL: <https://histrf.ru/read/articles/piervyi-russkii-samoliot> (дата обращения: 03.12. 2023)
2. Эксперименты Отто Лилиенталя. [Электронный ресурс]. – 2023. URL: <https://helico-russia.ru/blog/chelovek-nauchivshiysya-letat-ramyati-otto-lilientalya/> (дата обращения: 03.12. 2023)
3. Братья Райт. Материал из Википедии — свободной энциклопедии [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 03.12. 2023)
4. *Пышинов В. С.* Биография. Штопор самолёта. [Электронный ресурс]. – 2023. URL: <https://metallo-obrabotka24.ru/aviakonstryktory/vladimir-pyshnov-biografiya-foto-dostizheniya/> (дата обращения: 03.12. 2023)
5. *Ништ М.И.* Аэродинамика боевых летательных аппаратов и гидравлика их систем / М. И. Ништ. – М.: ВВИА, 1994.
6. *Котовский В. Н.* Техническая термодинамика. – Москва: МГТУ ГА, 2015. – 86 с.
7. *Нечаев Ю. Н.* Теория авиационных двигателей. Часть 1 / Р. М. Федоров, В. Н. Котовский, А. С. Полев. – Москва: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 2006. – 365 с.

УДК 629.737.33.0184

## ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНОГО СУДНА ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Пономарёв Д. О.

Вознюк И. В.  
(научный руководитель)

*ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»  
(г. Воронеж)*

**Аннотация.** В предлагаемой статье был проведён анализ проблем технического обслуживания воздушного судна при экстремальных климатических условиях. Рассмотрены отрицательные моменты влияния на техническое обслуживание летательных аппаратов таких негативных факторов, как низкие температуры, обледенение, вязкость топлива, испаряемость топлива, пыль, песок.

**Ключевые слова:** техническое обслуживание, низкие температуры, пыль, песок.



Эксплуатация самолётов и вертолётов при низких температурах окружающего воздуха представляет особые технические и операционные вызовы. В таких условиях возникают уникальные проблемы, которые могут привести к частым поломкам и простоям воздушных судов, нарушению графика полётов и увеличению числа аварийных ситуаций. Одной из главных причин отказов и неисправностей является накопление снега и образование льда в различных системах и узлах самолётов и вертолётов. Накопление снега и обледенение поверхностей летательных аппаратов может происходить на крыльях, управляющих поверхностях, воздухозаборниках, а также на других системах и агрегатах. Это может вызывать серьезные проблемы с аэродинамикой и управляемостью воздушных судов. Кроме того, заснеженность стоянок, рулежных дорожек и взлетно-посадочных полос также может привести к отказам и задержкам в полётах. Для обеспечения безопасной эксплуатации в холодных условиях, важно проводить регулярное техническое обслуживание, включающее проверку и очистку всех систем и узлов от снега и льда. Также необходимо использовать специальные антиобледенительные и антизадиричные покрытия на поверхностях самолётов и вертолётов. Эти покрытия помогают предотвратить накопление снега и обледенение, обеспечивая безопасность полётов. Кроме того, важно обучать пилотов и технический персонал особенностям работы и обслуживания в холодных условиях. Это включает знание процедур очистки и предотвращения обледенения, а также умение распознавать и реагировать на возможные проблемы, связанные с низкими температурами. В целом, эксплуатация и техническое обслуживание самолётов и вертолётов в холодных климатических условиях требует специального внимания и подхода. Регулярное обслуживание, использование специальных покрытий и обучение персонала помогут минимизировать риски и обеспечить безопасность полётов даже при низких температурах окружающего воздуха.

Температура окружающей среды оказывает существенное влияние на эксплуатацию самолётов и вертолётов. При низких температурах вязкость топлива увеличивается, а его испаряемость ухудшается. Это приводит к проблемам с запуском двигателей и ухудшению их работы.

Вязкость топлива – это его способность сопротивляться течению. При повышении температуры вязкость топлива уменьшается, и наоборот. При низких температурах вязкость топлива может увеличиться в десятки раз. Это затрудняет прокачивание топлива по топливной системе и приводит к проблемам с запуском двигателей.

Испаряемость топлива – это способность топлива переходить в газообразное состояние. При повышении температуры испаряемость топлива увеличивается и наоборот. При низких температурах испаряемость топлива ухудшается, и, следовательно, ухудшается и его воспламенение. Это также приводит к проблемам с запуском двигателей.

Также могут возникнуть проблемы с запуском двигателей. Запуск поршневых двигателей затруднен при температуре окружающего воздуха ниже  $5^{\circ}\text{C}$  и невозможен при температуре ниже минус  $36^{\circ}\text{C}$  без промежуточного их

подогрева. Запуск турбовинтовых двигателей затруднен при температуре минус 5° С и ниже, и практически невозможен при температурах минус 15° С и ниже. Появляются сложности также при запуске турбореактивных двигателей при температуре минус 15° С и ниже, а, следовательно, их также приходится подогревать.

Кроме проблем с запуском двигателей, низкие температуры могут привести к следующим проблемам при эксплуатации самолётов и вертолётов:

1. Обледенение поверхностей летательных аппаратов. При низкой температуре и высокой влажности на поверхности самолёта или вертолёта может образовываться лёд. Это может привести к снижению аэродинамических характеристик и увеличению веса летательного аппарата.

2. Замерзание систем и агрегатов. При низкой температуре в системах и агрегатах летательного аппарата может замерзнуть топливо, масло и другие жидкости. Это может привести к отказу систем и агрегатов.

3. Проблемы с эксплуатацией аэродромов. При низкой температуре заснеженность и обледенение аэродромов могут затруднять или даже препятствовать взлёту и посадке самолётов и вертолётов.

Для снижения влияния низких температур на эксплуатацию самолётов и вертолётов применяются следующие меры:

1. Использование специальных топлив с пониженной вязкостью и улучшенной испаряемостью.

2. Подогрев топлива и других жидкостей в системах и агрегатах летательного аппарата.

3. Использование противообледенительных систем.

4. Очистка аэродромов от снега и льда.

Таким образом, низкие температуры представляют собой серьёзную проблему для эксплуатации самолётов и вертолётов. Для снижения влияния низких температур применяются различные меры, которые позволяют обеспечить безопасность полётов в сложных погодных условиях.

При понижении температуры упругость резины существенно снижается, что приводит к утечкам специальных жидкостей и масел, а, в конечном итоге, к снижению давления в системах и их отказу. Для устранения этих неисправностей необходимо провести подогрев и подтяжку мест уплотнения, а затем проверить систему на герметичность под давлением. При минусовой температуре воздуха ниже -50°С, свободное топливо начинает выделять парафин, который забивает фильтры тонкой очистки своей плотной смолистой пленкой. Кроме того, при стоянке летательного аппарата с неполностью заправленными баками на стенках топливных баков оседает иней, который также забивает фильтры при движении летательного аппарата. Зимой дренажные патрубки топливной системы часто замерзают, что может привести к повреждению баков и отказу двигателей. Чтобы избежать образования инея на стенках баков во время длительной стоянки, их следует полностью заправить топливом. Перед и после заправки осуществляется слив отстоя через сливные краны и проверяется состояние топлива. При обслуживании двигателей, если срабатывает сигнализация о засорении топливных фильтров,

все фильтры грубой и тонкой очистки снимаются, а также осуществляется слив отстоя из топливных баков. Перед каждым полетом необходимо осмотреть заборники воздуха дренажной системы и убедиться, что они не замерзли и не содержат льда.

При низких температурах и воздушных системах часто возникают дефекты и отказы. Может произойти закупорка трубок замера давления в воздушных системах запуска или высотных систем, что приводит к отказу систем. Для исправления таких дефектов и предотвращения отказов проводятся дополнительные мероприятия, включающие подогрев трубопроводов воздушных систем, продувку их воздухом, слив конденсата из влагоотстойников и другие. При низких температурах могут возникать неисправности и отказы из-за увеличения вязкости специальных жидкостей и смазок. Это может снизить чувствительность систем автоматического регулирования и увеличить жесткость работы амортизаторов шасси, что приведет к повышению нагрузок и износу подвижных частей. В случае турбовинтовых двигателей при температуре ниже  $-45^{\circ}\text{C}$  клапан и датчики автоматического флюгирования сработают с небольшой задержкой. Датчики выключения турбореактивных двигателей по частоте также реагируют на низкую температуру, выключая двигатели при меньших значениях частоты вращения. Поэтому требуется дополнительный подогрев силовых установок и поддержание их в рабочем состоянии перед запуском. При температуре окружающего воздуха ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  масло должно быть сливаемым из маслосистем двигателей после полета и заливается подогретым до  $80^{\circ}\text{C}$  непосредственно перед полетом. Зимой частыми отказами являются закупорка распределительных устройств, контролирующих поворот передней опоры шасси, из-за различия коэффициентов линейного расширения материалов. Также может происходить проворачивание пневматиков относительно барабана колес шасси. Для повышения надежности работы шасси при температурах ниже  $-30^{\circ}\text{C}$  желательно прогревать его в течение 20 минут и заправлять пневматику воздухом до верхних пределов, чтобы предотвратить их проворачивание. Для обеспечения работоспособности систем вертолетов необходимо проводить осмотр топливных фильтров при температуре ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  и очищать их от парафина, а также прогревать несущие и хвостовые винты, основные участки гидросистемы и заменять смазку в редукторах на зимнюю или летнюю. Также проводится подогрев агрегатов и фильтров воздушной системы. При запуске двигателей следует выставлять лопасти несущего винта на задний упор, чтобы предотвратить раскачку вертолета, и подогревать дренажные баки теплым воздухом. Особое внимание следует уделять радиоэлектронному и навигационному оборудованию, а также противопожарной системе, так как возможны обрывы проводов, короткие замыкания, изменение сопротивления и нарушение изоляции проводов, а также уменьшение емкости аккумуляторов. В случае резких изменений температуры и появления влаги может значительно измениться сопротивление электропроводов, что может вызвать ложные срабатывания определенных систем, например, пожарной.

Летние периоды в степных, полупустынных и пустынных регионах характеризуются высокой температурой воздуха, которая может достигать +40 °С и выше. Такие условия создают дополнительные трудности для эксплуатации авиационной техники, что может привести к преждевременному износу и выходу из строя оборудования.

#### 1. Влияние температуры воздуха

Высокая температура воздуха приводит к увеличению скорости испарения лакокрасочного покрытия, что может привести к растрескиванию и отслаиванию. Кроме того, под воздействием высоких температур могут деформироваться резиновые и пластиковые детали, а также узлы и агрегаты из металлов, чувствительных к температурным воздействиям.

#### 2. Влияние пыли и песка

В условиях жаркого климата концентрация пыли и песка в воздухе значительно возрастает. Эти частицы могут попадать в двигатели, системы управления и другие элементы конструкции летательного аппарата, что может привести к их повреждению. Кроме того, пыль и песок могут вызвать абразивный износ лакокрасочного покрытия и других поверхностей. Для обеспечения безопасной эксплуатации авиационной техники в условиях жаркого климата необходимо соблюдать следующие рекомендации:

1. Регулярно проводить техническое обслуживание и ремонт оборудования, особое внимание уделяя системам охлаждения, смазки и уплотнений.

2. После полетов в условиях пыльной бури необходимо тщательно очищать поверхности летательного аппарата от пыли и песка.

3. Использовать специальные смазки и масла, которые обладают повышенной устойчивостью к воздействию высоких температур и абразивных частиц.

4. Регулярно проверять давление в шинах шасси.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Регламент технического обслуживания сооружений и технологического оборудования объектов авиатопливообеспечения: утв. зам. МГА СССР 10.11.1988: введен 01.10.1990.

2. Руководство по приему, хранению, подготовке к выдаче на заправку и контролю качества авиационных горюче-смазочных материалов и специальных жидкостей в предприятиях воздушного транспорта Российской Федерации (ДВ-126): Федеральные авиационные правила: утв. Пр. Департамента воздушного транспорта РФ от 17.10.1992 № 126.

3. Химмотология горючего: учеб. пособие: в 2 ч. / А. Н. Литвиненко и др. – Ч.1. – Ульяновск: УВВТУ, 2005. – 262 с.



## ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВОЗДУШНОЙ ПЕРЕВОЗКЕ И ОБСЛУЖИВАНИИ ПАССАЖИРОВ В АЭРОПОРТУ

Потапова С. Д., Солюянова К. А.

Шушарин В. А.  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** В данной статье рассматривается вопрос, связанный с обеспечением авиационной безопасности при воздушной перевозке и обслуживании пассажиров в аэропортах. Анализируются различные аспекты безопасности, включая контроль доступа, досмотр пассажиров и багажа, а также техническое обслуживание воздушных судов. Статья подчеркивает необходимость непрерывного совершенствования систем безопасности и обслуживания пассажиров в аэропортах посредством внедрения новых технологий, обучения персонала и разработки стандартов безопасности.

**Ключевые слова:** авиационная безопасность, аэропорт, технологии, пассажиры, защита.

Безопасность государства во многом зависит от степени защищенности транспортной системы страны. В силу увеличения актов незаконного вмешательства деятельности гражданской авиации наша страна вынуждена уделять исключительное внимание повышению уровня авиационной безопасности. В этих целях международная гражданская авиация в ведущих авиационных державах, в том числе и в России, постоянно проводит исследовательские работы по созданию новых инновационных технологий. Они базируются на различных физических принципах, позволяющих практически исключить возможность проноса пассажирами и доставки в находящихся при них вещах и багаже взрывчатых веществ, являющихся основой взрывных устройств, способных при их активации разрушить воздушное судно в полете.

Использование инновационных технологий предприятиями воздушного транспорта направлено на усовершенствование технологического процесса с целью оптимального удовлетворения потребностей пассажиров и авиакомпаний в услугах по наземному обслуживанию, помимо этого, инновации также активно используются и в развитии неавиационной деятельности объектов аэропортовой инфраструктуры. Цель внедрения технологий заключается, прежде всего, в повышении авиационной безопасности и совершенствовании деятельности аэропортов и авиакомпаний.

Под понятием авиационная безопасность понимается комплекс мер, а также людских и материальных ресурсов, предназначенных для защиты

гражданской авиации от актов незаконного вмешательства. В основе Федеральной системы защиты деятельности гражданской авиации от актов незаконного вмешательства основополагающую роль играют совокупность правовых и организационных мер, направленных на предотвращение противоправных действий в отношении ГА.

С момента развития воздушного транспорта, появления возможности осуществлять воздушные перевозки пассажиров, багажа, а также различных грузов возникла необходимость в разработке системы авиационной безопасности, обеспечивающей безопасность человека в различных авиационных комплексах и аэродромных терминалах. На современном этапе авиационная безопасность рассматривается как состояние защищённости авиации от незаконного вмешательства в её деятельность.

Авиационная безопасность имеет свою цель, задачи, предмет исследования, средства познания и принципы, используемые для решения практических и теоретических (научных) задач в зависимости от жизненного цикла воздушных судов и средств обеспечения воздушных перевозок.

Создание службы авиационной безопасности (САБ) в системе функционирования аэропорта занимает одно из важных мест. Это связано с тем, что правильное осуществление мер определяет сохранность жизни и здоровья пассажиров и сотрудников аэропорта, их имущества, материальных ценностей самого аэропорта.

Сотрудники САБ наделяются особыми полномочиями по обеспечению безопасности в аэропортах. Так, они имеют право осуществлять:

- надзор за выполнением требований безопасности работниками всех служб аэропорта;
- досмотр пассажиров и их вещей при регистрации, членов экипажа и их вещей перед посадкой на борт воздушного судна;
- защиту объектов аэропорта от доступа посторонних лиц;
- другие функции, проводимые совместно с ФСБ и МВД России.

Создание САБ связано с тем, что террористическая активность за последние годы выросла и стала глобальной угрозой. Террористические акты используются как способ давления на правительство, политических противников.

Особенно привлекательными для террористов являются объекты авиационного транспорта, которые наиболее уязвимы по сравнению с другими видами, а также объекты аэропортов.

Террористические акты на воздушном транспорте сопровождаются большим количеством человеческих жертв, вызывают политический резонанс и дестабилизацию в обществе и рассматриваются в виде незаконного вмешательства в деятельность в области авиации.

Обеспечение авиационной безопасности от актов незаконного вмешательства в деятельности ГА стало неотъемлемой частью работы авиакомпаний и аэропортов, а также государственных силовых структур. Основным звеном в эффективном функционировании системы авиационной безопасности становится четко отлаженная система подготовки,

переподготовки и сертификации сотрудников САБ, экипажей, всего авиаперсонала, имеющего отношение к обеспечению авиационной безопасности.

*Авиационная безопасность* обеспечивается комплексом мер, предусматривающих функционирование служб авиационной безопасности, охрану аэропортов, воздушных судов и объектов гражданской авиации, досмотр членов экипажей, обслуживающего персонала, пассажиров, ручной клади, багажа, почты, грузов и бортовых запасов, предотвращение и пресечение актов незаконного вмешательства.

В функции руководства аэропортом входит разработка программ обеспечения авиационной безопасности. Эти программы содержат комплекс мер по обеспечению авиационной безопасности применительно к особенностям условий базирования, географии полётов воздушных судов, типов эксплуатируемых воздушных судов, объёма пассажирских и грузовых перевозок и другим факторам.

Программы строятся на методах безопасности, таких как:

*Метод А* – разделение объектов защиты от объектов опасности. Этот метод предполагает создание зон контролируемых территорий, разделение объектов аэропорта по функционированию, использование ограждений, разделяющих зоны аэропорта и др.

*Метод Б* – приведение действующих объектов в состояние готовности к противодействию незаконного вмешательства (терроризма) на территории аэропорта и его объектов, включая разрешение на досмотр воздушных судов, их экипажей, пассажиров и различного груза, предназначенного для перевозки воздушными судами, а также охрану объектов на территории аэропорта.

*Метод В* учитывает обучение персонала аэропорта, контроль зданий, сооружений и его объектов, постоянное повышение квалификации сотрудников САБ, проведение своевременных инструктажей, в том числе и с пассажирами аэропорта.

В проектах вновь строящихся или реконструируемых аэропортов предусматривается наличие:

Помещений:

- для досмотра: пассажиров, ручной клади и багажа, оборудованных техническими средствами досмотра. В случае отсутствия такого помещения организуются зоны контроля пассажиров, почты, грузов и бортовых запасов;
- проведения личного (индивидуального) досмотра пассажиров;
- оформления оружия, боеприпасов и спецсредств, переданных пассажирами для временного хранения на период полёта воздушного судна;
- размещения сотрудников САБ, сотрудников органов внутренних дел;
- отдыха дежурных смен САБ;
- караульных;
- контрольно-пропускных пунктов (КПП);
- ограждений аэропортов по периметру.

*САБ аэропорта* обеспечивает выполнение требований по авиационной безопасности и подчиняется непосредственно руководителю администрации аэропорта.

Всё это крайне важно вследствие того, что за последние 10-15 лет, террористическая активность только растёт. Высокая уязвимость в сравнении с другими потенциальными целями особенно привлекательна на транспортных объектах для террористов, так как это обычно приводит к большому количеству жертв, вызывая эмоциональное и общественное потрясение.

Защита гражданской авиации от актов незаконного вмешательства (АНВ) по сей день остается актуальным вопросом.

В периоды разработки систем предотвращения противоправных действий, а именно терактов, необходимо использовать комплексный подход к обеспечению безопасности, формируемый с учетом актуальных тенденций криминально-террористической угрозы. Благодаря этому, эффективное противодействие террористическим угрозам возможно только при сплочённой и слаженной работе правоохранительных органов, служб безопасности и других заинтересованных ведомств и организаций.

Согласно Конвенции ИКАО обеспечение авиационной безопасности является стратегической задачей государства.

Цель Стратегического плана действий, принятого Советом ИКАО 7 февраля 1997 года и обновленного 7 июня 2004 года, заключается в дальнейшем повышении уровня безопасности полетов, авиационной безопасности, эффективности международной гражданской авиации и содействии реализации принципов, заложенных в Конвенции о международной гражданской авиации.

Согласно Воздушному кодексу РФ, статья 83, авиационная безопасность обеспечивается службами авиационной безопасности аэродромов или аэропортов, подразделениями ведомственной охраны федерального органа исполнительной власти, уполномоченного в области транспорта, а также органами внутренних дел, службами авиационной безопасности эксплуатантов (авиационных предприятий), а также уполномоченными органами, наделенными этим правом федеральными законами.

Кроме этого, авиационная безопасность обеспечивается комплексом мер, предусматривающих функционирование служб авиационной безопасности, охрану аэропортов, воздушных судов и объектов гражданской авиации, досмотр членов экипажей, обслуживающего персонала, пассажиров, ручной клади, багажа, почты, грузов и бортовых запасов, предотвращение и пресечение актов незаконного вмешательства.

Согласно анализу состояния авиационной безопасности на объектах гражданской авиации РФ, основанному на результатах инспекционных проверок, которые систематически осуществляются центральным аппаратом и территориальными органами Росавиации, и контроля соответствия юридических лиц требованиям нормативных правовых документов, свидетельствующих о наличии ряда характерных недостатков и несоответствий сертификационным требованиям, основными из которых являются:

- низкая оснащённость аэропортов, а также использование ими морально и физически устаревших технических средств досмотра, а в некоторых случаях отсутствие таких средств;
- отсутствие, полностью или частично, патрульных дорог;
- отсутствие в ряде аэропортов автоматизированных систем контроля и управления доступом персонала;
- неполное наличие периметрового ограждения;
- необеспеченность охраны периметра силами подразделений ведомственной охраны Минтранса России.

Анализ состояния защищённости объектов транспортной инфраструктуры от АНВ, основанный на результатах инспекционных проверок, которые систематически осуществляются контролирующими органами, показывает, что часть аэропортов Российской Федерации не оснащены рентгенотелевизионными интроскопами. В основном это аэропорты регионального значения, местных воздушных линий с малой интенсивностью полётов.

Недостаточной является оснащённость аэропортов техническими средствами (рис. 1), позволяющими выявить взрывчатые вещества и опасные жидкости. Приборами обнаружения взрывчатых веществ оснащены лишь 37% аэропортов, а детекторами опасных жидкостей – всего 5%.

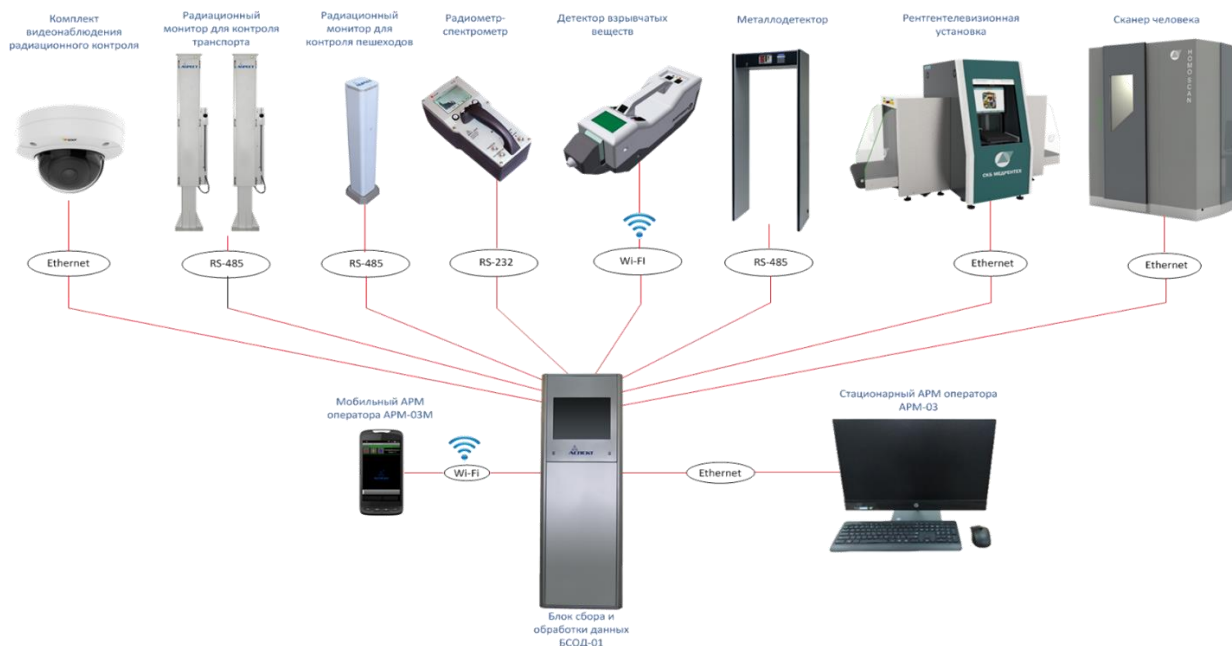


Рисунок 1 – Технические средства обеспечения безопасности

Возникновение определённой части недостатков, влияющих на состояние защищённости от АНВ, не связано с финансовым обеспечением, а обусловлено организационными упущениями и отсутствием должного контроля за собственными решениями руководства аэропорта. В первую очередь это касается подготовки персонала, задействованного в обеспечении

транспортной и авиационной безопасности, знания ими требований законодательных и нормативных актов, а также их неукоснительного выполнения в практической деятельности.

Обеспечивая безопасность аэропорта, требуется учитывать множество параметров. Во многих случаях должного уровня авиационной безопасности пытаются достичь путем внедрения самых современных технических средств и технологий. Однако технические средства решают только часть задачи – обнаружение и отражение угрозы. Но все чаще возникает проблема человеческого фактора.

Сегодня для досмотра используются:

- аппаратура радиационного контроля;
- арочный стационарный металлодетектор;
- ручной металлодетектор;
- сканирующая рентгеновская установка для досмотра человека;
- стационарная рентгеновская установка конвейерного типа для досмотра багажа;
- портативный детектор (хроматограф) для диагностики ВВ и их следов.

На практике каждый из этих приборов работает следующим образом:

- аппаратура радиационного контроля – обнаруживает радиоактивные вещества и не обнаруживает взрывчатые вещества, оружие, боеприпасы, патроны к оружию, взрывные устройства, элементы взрывных устройств;
- арочный стационарный металлодетектор – обнаруживает металл и не обнаруживает радиоактивные вещества, взрывчатые вещества, оружие, боеприпасы, патроны к оружию, взрывные устройства, элементы взрывных устройств, если только весь этот боекомплект не содержит металла;
- ручной металлодетектор обнаруживает металл и не обнаруживает радиоактивные вещества, взрывчатые вещества, оружие, боеприпасы, патроны к оружию, взрывные устройства, элементы взрывных устройств, опять же, если все это не имеет металлических составляющих;
- сканирующая рентгеновская установка для досмотра человека не обнаруживает радиоактивные вещества, взрывчатые вещества, оружие, боеприпасы, патроны к оружию, взрывные устройства, элементы взрывных устройств. Она всего лишь выдает изображение на экран монитора. Но с ее помощью при соответствующей подготовке сотрудник авиационной безопасности может обнаружить радиоактивные вещества, взрывчатые вещества, оружие, боеприпасы, патроны к оружию, взрывные устройства, элементы взрывных устройств;
- стационарная рентгеновская установка конвейерного типа не обнаруживает радиоактивные вещества, взрывчатые вещества, оружие, боеприпасы, патроны к оружию, взрывные устройства, элементы взрывных устройств. Она всего лишь выдает изображение на экран монитора. Но сотрудник САБ при соответствующей подготовке может обнаружить рассматриваемые вещества и предметы;

– портативный детектор (хроматограф) для диагностики взрывчатых веществ и их следов не обнаруживает радиоактивные вещества, взрывчатые вещества, оружие, боеприпасы, патроны к оружию, взрывные устройства, элементы взрывных устройств. Он диагностирует следы взрывчатых веществ, которые сотрудник авиационной безопасности вносит в приемный узел детектора.

Есть ряд причин, по которым очень сложно обеспечить безопасность аэропорта. К ним можно отнести:

- большую площадь территории объекта;
- большое число сотрудников аэропортов;
- огромный поток людей.

На сегодняшний день, аэропорты должны быть максимально оснащены современными техническими средствами и комплексными системами безопасности. Система безопасности аэропорта должна работать непрерывно 24 часа 7 дней в неделю.

Для достижения авиационной безопасности необходимо рассматривать воздействие факторов опасности при их взаимодействии с человеком как в отдельности, так и в совокупности, что составляет основу системного подхода в данной области. Поскольку только при системном подходе возможно в комплексе достичь конечной цели безопасности – обеспечения надёжной защищённости человека в производственной и непроизводственной средах.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О федеральной системе обеспечения защиты деятельности гражданской авиации от актов незаконного вмешательства [Текст]: постановление Правительства РФ от 30 июля 1994 г. № 897 // Собр. Законодательства Рос. Федерации. – № 15. – Ст.1795.
2. Авиатранспортные системы: учебное пособие / сост. Л. Б. Бажов. – Ульяновск: УВАУ ГА (И), 2018. – 98 с.
3. Карпова Л. И. Современные технические средства авиационной безопасности / Л. И. Карпова, Д. А. Никитин // Научный вестник МГТУ ГА. – 2019. – № 155. – С. 34-36.
4. Инновации и прорывы. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.aviaport.ru/digest/2019/12/27/620889.html> (дата обращения: 15.11.2023)
5. Шевчук П. С. Теория и практика применения технических средств таможенного контроля: Учебник / П. С. Шевчук, О. Р. Попов. – Москва: Издательство Феникс, 2017. – 285 с.
6. Эволюция теории обеспечения безопасности полетов. [Электронный ресурс] : Архив студенческих работ. – URL: [https://vuzlit.com/982305/evolyutsiya\\_teorii\\_obespecheniya\\_bezopasnosti\\_poletov](https://vuzlit.com/982305/evolyutsiya_teorii_obespecheniya_bezopasnosti_poletov) (дата обращения: 15.11.2023)

## ОПАСНЫЕ И ВРЕДНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Ратников А. В.

Шушарин В. А.  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** Законодательные нормы по опасным и вредным факторам при обслуживании воздушных судов разработаны для обеспечения безопасности и защиты труда инженерного состава в авиационной промышленности. Эти нормы предусматривают обязанности и требования, которые должны выполняться как работодателями, так и работниками. В данной статье рассмотрены вопросы, связанные с негативными производственными факторами технического обслуживания воздушных судов, и методы защиты технического персонала.

**Ключевые слова:** техническое обслуживание, ремонт, безопасность, воздушное судно, авиационная техника, аэродром.

Воздушный транспорт является одним из основных компонентов транспортной инфраструктуры современной цивилизации, важнейшим звеном единой мировой транспортной системы.

Новые повышенные требования в области безопасности полётов усложняют конструкцию самолётов, вызывают необходимость внедрения нового и усовершенствованного бортового и наземного оборудования, что увеличивает трудозатраты на поиск неисправностей в сложных бортовых системах, а это существенно влияет на объем и сложность работы технического персонала.

Причинами возникновения авиационных катастроф зачастую являются ошибки технического обслуживания персонала.

Вредные производственные факторы негативно влияют на физическое и психическое состояние персонала, вследствие чего производится некачественная работа, приводящая к авариям.

Исполнение общих требований безопасности гарантируют безопасные условия труда и эффективность работы технического персонала, снижение риска аварийности на воздушном транспорте.

**Техническое обслуживание (ТО)** – это комплекс операций по поддержанию работоспособности, обеспечению исправности воздушных судов (ВС) и готовности их к полетам.

**Ремонт** – комплекс операций по восстановлению работоспособности изделий функциональных систем ВС или составных частей изделий.



При выполнении работ по техническому обслуживанию, с одной стороны, улучшается состояние систем, агрегатов и узлов ВС и предупреждаются неисправности (введение масел, регулиции параметров и т.п.), с другой стороны, в результате некачественного выполнения работы может ухудшиться их техническое состояние и даже появиться неисправность.

Каждое авиационное предприятие, выполняющее или обеспечивающее техническую эксплуатацию ВС, должно иметь необходимую документацию, устанавливающую организационные, нормативные и технические правила технического обслуживания и ремонта данного типа ВС, которые гарантируют:

1. Техническое обслуживание, ремонт и доработки ВС производятся по действующей документации в установленные сроки и в установленном порядке.

2. Технический персонал надлежащим образом подготовлен, а использование, учет и хранение эксплуатационной документации осуществляются в установленном порядке.

3. Каждое ВС имеет летную годность и соответствующим образом оформленную эксплуатационную документацию, подтверждающую сохранение летной годности ВС при дальнейшей эксплуатации на уровне установленных требований и норм.

Работа по техническому обслуживанию разделяется на две категории: ежедневный текущий ремонт (*линейное техническое обслуживание*) и периодически выполняемые процедуры проверки, технического ремонта и регламентной замены отработавших ресурс частей и деталей (*базовое техническое обслуживание*).

**Линейное техническое обслуживание** выполняется в аэропортах, как правило, с большим объемом авиaperевозок. Технический персонал работает в условиях техногенного воздействия вредных производственных факторов – шум, вибрация, электромагнитное излучение; некомфортных климатических условий – температура, влажность, ветер, удары молнии; движения и применения технических средств наземного обслуживания. Каждый из этих факторов может увеличить риск опасной ситуации при выполнении работ по техническому обслуживанию воздушных судов.

Двигатели самолетов являются опасными для инженерного состава аэропорта, находящегося на аэродроме. Механики находятся в зоне риска быть затянутыми во входное устройство реактивных двигателей, могут получить удар пропеллера (ТВД) и выхлопной струи из соплового аппарата (ТРД).

Неблагоприятная погода (дождь, снег, туман, смог) и плохая видимость в ночное время увеличивают риск получения травм наземным персоналом от подвижного оборудования и транспорта. Применение светоотражающего материала на рабочей одежде (светоотражающий жилет) помогает улучшить видимость. В целях обеспечения авиационной безопасности аэродрома организуются зоны ограниченного доступа (контролируемые зоны), в которых контролируется перемещение всех лиц и транспортных средств.

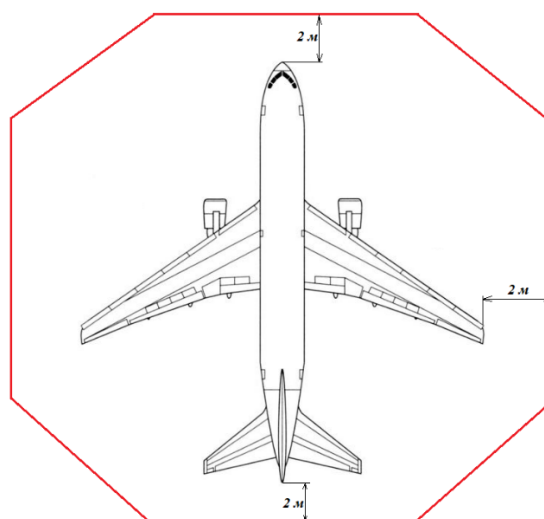


Рисунок 1 – Зона обслуживания ВС (зона перрона)

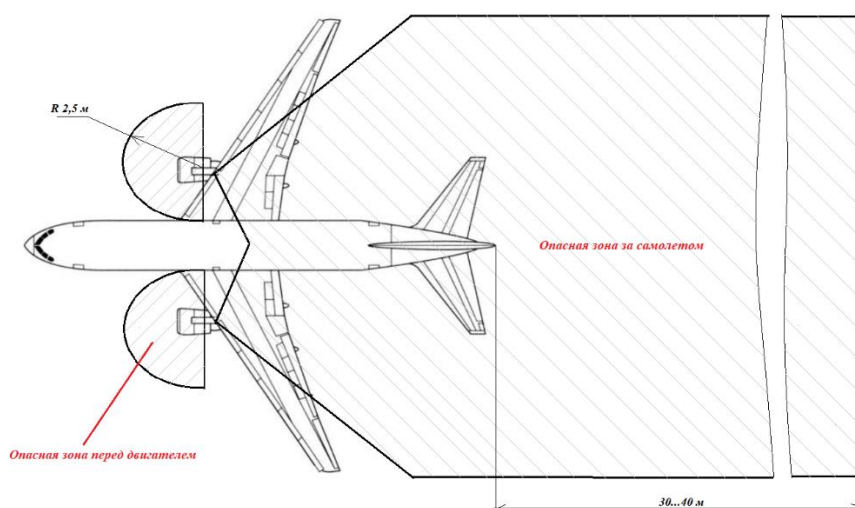


Рисунок 2 – Опасные зоны при работе двигателя (среднемагистральные самолеты)

Зоны ограниченного доступа организуются таким образом, чтобы на их территории могли производиться только санкционированные и плановые действия (рисунок 1).

Контролируемые зоны аэропорта оборудуются ограждениями с обозначенными указателями, системой охраны и контроля за доступом в них всех лиц и транспортных средств, имеющих на это разрешение. Все эти зоны регламентируются приказом от 25 августа 2015 г. № 262 Министерством Транспорта Российской Федерации

Акустический шум и механическая вибрация относятся к распространенным физическим опасным и вредным производственным факторам при обслуживании летательных аппаратов, воздействие которых на работающих при определенных условиях может привести к заболеванию или снижению работоспособности.

Таблица 1 – Негативное влияние шума на организм человека

Влияние на человека	Уровень шума в децибелах	Источник звука
Сильные поражения	140	Реактивный двигатель Заклепочный молот
	130	
<i>Граница болевых ощущений</i>		
Поражение	120	Пропеллерный самолет Отбойный молоток
	110	
Опасность Неслышна речь Раздражение	90	Грузовик Оживленная улица Легковой автомобиль Обычный разговор Негромкий разговор Тихая музыка
	80	
	70	
	60	
	40	
<i>Граница слуховых ощущений</i>		

*Шум*, при воздействии на организм человека как мощный стресс-фактор, может вызывать изменение реактивности центральной нервной системы, вследствие чего происходит расстройство функций органов и систем, обуславливая развитие профессиональных заболеваний.

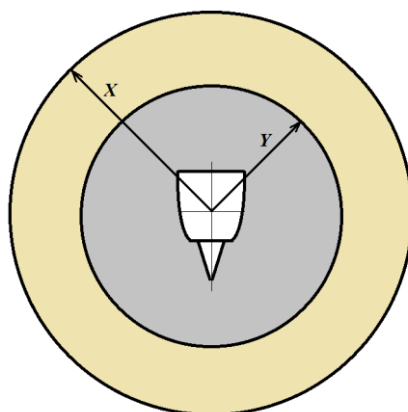


Рисунок 3 – Расположение опасных зон повышенного шума (X – требуется защита органов слуха; Y – нахождение в пределах этой области даже с защитой органов слуха может привести к повреждению слуха)

Зоны с уровнем звука или эквивалентным уровнем звука выше 80 дБЛ должны быть обозначены знаками безопасности по ГОСТ 12.4.026-7. Работающих в этих зонах администрация обязана снабжать средствами индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.011-89. Назначение сигнальных цветов, знаков безопасности и сигнальной разметки состоит в обеспечении однозначного понимания определенных требований, касающихся безопасности, сохранения жизни и здоровья людей, снижения материального ущерба, без применения слов или с их минимальным количеством (ГОСТ Р 12.4.026-2001).

*Вибрация* представляет собой механическое колебательное движение поверхностей, узлов, деталей оборудования, простейшим видом которого является синусоидальное колебание.

Норма вибрационной нагрузки на оператора устанавливается для каждого направления действия вибрации. Оценка вибрационной безопасности труда должна производиться на рабочих местах конкретного производства или обслуживания при выполнении технологической операции.

Воздействие вибрации на человека сопровождается неприятными ощущениями такими как: «онемение», слабость в кисти руки, судороги. Локальная вибрация вызывает спазмы сосудов сердца. Вибрация может сопровождаться потерей чувствительности кожи, окостенениями сухожилий мышц, отложениями в суставах солей. Далеко не всякая вибрация оказывается воспринимаемой человеком. Систематическое воздействие вибрации может привести к вибрационной болезни – профессиональному заболеванию (головокружение, повышенная раздражительность, нарушение сна, боль в области сердца). Вибрационная болезнь занимает одно из ведущих мест в авиационной промышленности и при обслуживании летательных аппаратов на аэродромах.

Защита от вибрации включает в себя организационные, технические и медико-профилактические мероприятия.

К организационным мероприятиям относится ограничение времени воздействия вибрации для лиц виброопасных профессий, разработка внутрисменного режима труда, реализуемого в технологических процессах. Режим труда должен устанавливаться при показателе превышения вибрационной нагрузки на рабочего не менее 1 дБ (в 1,12 раза), но не более 12 дБ (в 4 раза). При показателе превышения более 12 дБ запрещается проводить работы и применять машины, генерирующие такую вибрацию.

К техническим мерам защиты относятся: снижение вибрации в источнике возникновения, виброгашение путем установления устройств, виброизоляция, использование СИЗ и спецодежды.

К медико-профилактическим мероприятиям относятся гимнастические упражнения (несколько раз в смену), массаж конечностей, проведение медицинских осмотров и витаминотерапия.

Ответственность за соблюдением установленных гигиенических нормативов по вибрации на рабочих местах лежит на работодателе. Для этого необходимо оценить риск, связанный с воздействием вибрации на рабочих, и принять меры для снижения вибрационной нагрузки (ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ).

*Показатели параметров микроклимата.* Все показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального и допустимого теплового состояния организма.

Оптимальные микроклиматические условия – обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья рабочего, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах. Допустимые микроклиматические условия – не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих

и локальных ощущений теплового дискомфорта, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности. Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в авиационном обслуживании ВС на аэродромах, в связи с наличием технических, климатических и географических причин, благодаря которым не могут быть обеспечены оптимальные условия работы (на аэродроме преимущественно погодные условия).

Руководители организаций вне зависимости от форм собственности и подчиненности в порядке обеспечения производственного контроля обязаны привести рабочие места в соответствие с требованиями к микроклимату, предусмотренными санитарными правилами и нормами 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Сильный ветер – порывистый или стабильный ветер со скоростью более 75 км/ч (40 узлов). Сильный ветер (ветер со средней скоростью 15 м/сек и более) представляет повышенный риск повреждений и травм.

Интенсивная жара. Весь персонал должен быть проинформирован о факторах риска, а также процедурах и технологиях выполнения работ, которые должны быть адаптированы к таким температурным условиям. При работе в экстремальных температурных условиях необходимо получить соответствующие консультации у медицинского специалиста. Персонал, работающий в условиях высоких температур, должен пройти соответствующий инструктаж.

Риски для здоровья, связанные с тепловой нагрузкой, можно минимизировать следующими способами:

- Перерывы в работе, вентиляция рабочего помещения, укрытие в тени при работе на открытом воздухе для сокращения времени нахождения под прямыми лучами солнца;
- Наличие источника с достаточным запасом питьевой воды возле места выполнения работ;
- Свободная и соответствующая погодным условиям одежда;
- Посменная работа с контролем за соблюдением графика.

*Химическое загрязнение* разнообразными веществами происходит при выбросах выхлопных газов самолетов, при работе авиаремонтных предприятий и аэропортов. Механическому загрязнению атмосферы пылью способствуют ветра, которые распространяются на обширных пространствах аэродромов.

В то же время при сгорании керосина в газотурбинных двигателях в атмосферу поступают в сравнительно больших количествах и разнообразные вредные вещества. К ним относятся окись углерода CO (угарный газ), различные углеводороды  $C_nH_m$  (метан  $CH_4$ , ацетилен  $C_2H_2$ , этан  $C_2H_6$ , толуол  $C_6H_5CH_3$  и др.), а также окислы азота (в основном  $NO_2$  и  $NO$ ) и окислы серы ( $SO_2$ , -  $SO_3$ ). Также в процессе эксплуатации наземными службами опасностью для инженерного персонала является загрязнение при заправке ВС авиационным топливом, маслом, гидравлическими жидкостями и применением противообледенительных жидкостей (рисунок 4). Опасность представляет попадание испарений этих химически опасных веществ в органы дыхания и органы зрения. Гидравлические жидкости, содержащие трибутил-фосфат, вызывают серьезные, хотя и временные раздражения роговицы глаз.

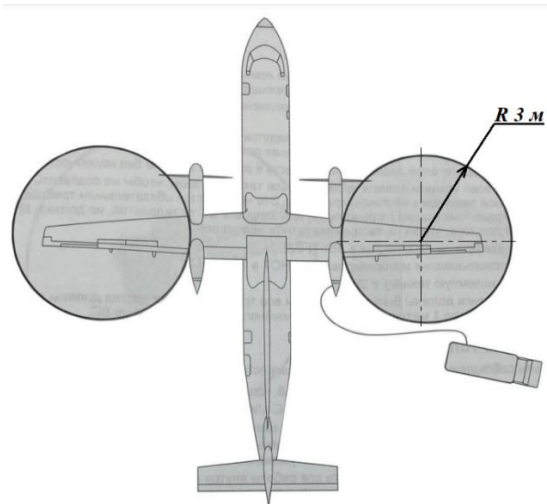


Рисунок 4 – Зона опасности во время заправки самолета топливом

*Производственное освещение* может быть двух видов: естественное и искусственное. Естественное освещение создается за счет солнечного излучения, проникающего в помещение через окна или световые проемы. Оно оказывает благоприятное биологическое и психологическое воздействие на организм человека. Искусственное освещение создается с помощью электрических и люминесцентных ламп (применение переносных ламп для обслуживания некоторых систем ВС на аэродроме в ночное время). Освещение, не отвечающее санитарным требованиям, может отрицательно влиять на зрение, самочувствие, работоспособность и профессиональное здоровье (свод правил СП 52.13330.2016).

Недостаточное освещение рабочего места затрудняет длительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости. Слишком низкие уровни освещения вызывают апатию и сонливость. Длительное пребывание в условиях недостаточного освещения сопровождается снижением интенсивности обмена веществ в организме и ослаблением его активности. Излишне яркий свет слепит, снижает зрительные функции, приводит к перевозбуждению нервной системы, уменьшает работоспособность, нарушает механизм сумеречного зрения.

Для защиты обслуживающего персонала от воздействия *электромагнитных излучений* необходимо вокруг устанавливаемого радиотехнического средства устраивать санитарно-защитные зоны (СЗЗ) и зоны ограничения застройки (ЗОЗ). Размеры этих зон должны определяться расчетами в соответствии с ведомственными нормативными документами. Также защита персонала от воздействия электромагнитных полей радиочастот может осуществляться путем проведения организационных и инженерно-технических, лечебно-профилактических мероприятий, а также использования средств индивидуальной защиты.

*Методы защиты при линейном техническом обслуживании:*

– Производить обслуживание ВС только на специализированных площадках;

- Технологические процессы выполнять в соответствии нормативно-техническими документами;
- Исключить нахождение посторонних лиц на рабочем месте;
- Все жидкости должны иметь разрешение лаборатории;
- Все агрегаты и машины кислородно-газовой техники должны быть укомплектованы исправными и проверенными контрольно-измерительными приборами, и предохранительными устройствами;
- Обслуживающий персонал должен работать в защитной одежде и очках;
- Отражающий материал рабочей одежды помогает улучшить видимость;
- Защитные устройства должны обеспечивать превосходную блокировку шума, одновременно они удобны и позволяют производить обмен важной информацией;
- Обеспечение порядка и чистоты на площадке технического обслуживания ВС.

**Базовое техническое обслуживание** по ремонту авиационной техники производится в ангарах или больших помещениях и должно быть обеспечено:

- производственными площадями для размещения и хранения оборудования, инструмента и материалов;
- помещениями для обеспечения управления работами по ТО АТ;
- площадями для размещения ВС, их компонентов, достаточной для исключения их повреждения;
- изолированными помещениями для выполнения экологически опасных работ (покраска, очистка, мойка, сварка, механическая обработка);
- помещениями и условиями для технического обслуживания отдельных компонентов;
- вентиляцией, освещением, возможностями поддержания температуры, влажности, иными условиями в месте проведения заявленных (разрешенных) работ, достаточных для их выполнения в условиях, предусмотренных эксплуатационной документацией и документацией разработчика;
- складами или помещениями с условиями для хранения запасных компонентов и расходных материалов или компонентов, снятых с обслуживаемых ВС;
- всем необходимым оборудованием, инструментами и материалами.

Для проведения работ по ТО АТ должно быть обеспечено:

1. Раздельное хранение исправных компонентов, оборудования, инструмента и материалов от неисправных компонентов и некондиционных материалов;
2. Использование технологического, контрольного, измерительного и испытательного оборудования с подтвержденным статусом пригодности к применению для выполнения разрешенных видов работ.

Испытания, проверки, поверки, калибровки, аттестацию соответствующего оборудования следует выполнять в соответствии с

требованиями законодательства Российской Федерации в области технического регулирования и обеспечения единства измерений (ГОСТ Р 8.000-2015).

*Методы защиты при базовом техническом обслуживании:*

- Применение персоналом средств индивидуальной защиты (СИЗ);
- Инженерные методы защиты по изменению рабочей площадки таким образом, что опасность, которой подвергается работник, снижается до минимума;
- Процедурные методы защиты состоят в том, что рабочая зона считается запретной, куда могут попадать лишь лица, которым это необходимо во время выполнения конкретной процедуры технического обслуживания;
- Регулярное проведение инструктажей по охране труда и технике безопасности;
- Должная организация системы контроля за исполнением принятых правил по охране труда и технике безопасности, разработка плана действий или его доработка, в случае несоблюдения данных правил и в случае возникновения внештатных ситуаций в рабочей зоне аэродрома или ангара.

### **Заключение**

Общие правила обеспечения безопасности производства работ наземного обслуживания авиационной техники включают:

1. Уровни опасных и вредных производственных факторов при техническом обслуживании ВС не должны превышать предельно допустимых значений, установленных государственными стандартами, правилами устройства электроустановок, санитарными правилами и нормами, другой нормативно-технической документацией, утверждаемыми в соответствии с действующим законодательством.

2. Техническое обслуживание ВС должно производиться с соблюдением требований, соответствующих ГОСТ Р 59816-2021, нормативных правовых актов по пожарной безопасности для промышленных предприятий, по пожарной охране в гражданской авиации Российской Федерации.

3. Производственное оборудование, применяемое при техническом обслуживании ВС, приспособления по обеспечению безопасности производства работ должны соответствовать требованиям ГОСТ 31812-2012.

4. Процесс технического обслуживания следует организовать так, чтобы исключить загрязнение окружающей среды отходами горюче-смазочных материалов, специальных жидкостей, а также шумом и электромагнитным излучением.

5. Сточные воды с мест стоянок ВС перед сбросом в канализацию должны очищаться и обезвреживаться.

Обязательное соблюдение правил и требований при техническом обслуживании авиационной техники сводит к минимуму возникновение аварийных ситуаций на аэродроме с воздушным судном, снижению негативных факторов, влияющих на безопасность рабочего персонала аэродрома и на безопасность полетов.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Международный опыт: охрана труда технического персонала гражданских воздушных судов [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.trudcontrol.ru/press/publications/6468> (дата обращения: 25.11.2023)
2. Опасные и вредные производственные факторы [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rsuh.ru> (дата обращения: 20.11.2023)
3. Руководство по деятельности ИАС. Часть 2. Общие правила наземного обслуживания АТ [Электронный ресурс]. – URL: <https://krg.aero/upload> (дата обращения: 22.11.2023)
4. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники [Электронный ресурс]. – URL: <https://gostassistant.ru/> (дата обращения: 30.11.23)
5. Характеристика вредных факторов труда членов экипажей и условий полетов пассажиров [Электронный ресурс]. – URL: <https://studme.org/419697> (дата обращения: 01.12.2023)
6. Энциклопедия по охране и безопасности труда [Электронный ресурс]. – URL: <http://base.safework.ru/iloenc> (дата обращения: 20.11.2023)

УДК 621.482

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АВИАЦИИ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Сапунов Д. М., Шевченко В. С.

Шевцов С. А., д-р техн. наук  
(научный руководитель)

*ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского  
и Ю.А. Гагарина»  
(г. Воронеж)*

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы значимости Арктического региона Российской Федерации как стратегической территории страны, безопасность которой может быть обеспечена, в том числе, военной авиацией. Акцентируется внимание на необходимости совершенствования технической эксплуатации воздушных судов в условиях экстремально низких температур окружающего воздуха. Предлагается технология генерации и подвода теплоты к АТ за счет использования геотермальной энергии Земли с применением парокомпрессионной тепловой установки.

**Ключевые слова:** техническая эксплуатация, авиационная техника, крайний Север, парокомпрессионная тепловая установка, геотермальная энергия.

На нашей планете осталось очень мало полностью не исследованных территорий. Арктический регион – один из таких. Само понятие Арктика – довольно растяжимое. Есть целый ряд определений, характеризующих этот регион, и каковы его границы. Существуют астрономическое, климатическое

и административное определения данного региона, как и ряд других, менее популярных. В России существует установленная законодательством Арктическая Зона Российской Федерации (далее АЗРФ). В эту зону входят как самые северные районы самой страны, так земли и воды Арктики, которые РФ считает своей арктической зоной влияния. Ряд других северных стран также претендует на свою часть территорий Арктики. Помимо нашей страны еще Канада, США, Норвегия и Дания в международном праве считаются приарктическими государствами и могут претендовать на Арктические территории, даже за пределами своих границ. В начале XX века сложилась правовая база для становления так называемого «секторального принципа» разграничения арктических пространств, который в течение долгого времени не оспаривался другими странами. Поэтому Арктика оставалась «закрытым регионом», особая значимость которого на протяжении XX века заключалась, главным образом, с военно-стратегической точки зрения [1].

В годы холодной войны регион служил пространством противостояния США и СССР, когда просторы Северного Ледовитого океана воспринимали как зону траекторий полетов стратегических ядерных ракет и бомбардировщиков, трасс следования подводных ракетноносцев. Со стороны НАТО была создана разветвленная военная инфраструктура – аэродромы, станции слежения, базы для подводных лодок в Норвегии, Гренландии, Исландии, США и Канаде. Советский Союз с целью укрепления своего военного присутствия проводил в регионе испытания ядерного оружия, выделял средства на строительство атомного ледокольного флота. К настоящему времени степень военной конфронтации в Арктике хоть и не перестала быть актуальной, но значительно снизилась, так как появление новых возможностей для коммерческого освоения региона выводит на первый план перспективы получения доступа к ресурсам и транспортным путям, следствием чего является превращение региона в объект интересов не только арктических, но и внерегиональных государств.

Вышеуказанные аргументы подтверждают значимость данного региона для нашей страны как в экономической сфере, так и в сфере Вооруженных Сил, так как будет являться самой удобной точкой базирования отечественного вооружения и военной техники к границам нашего потенциального противника, такого как США. Также помимо способности в случае внезапной агрессии со стороны противника применить вооружение, расположение военной авиации в этом регионе позволит иметь огромное преимущество над противником [2].

Активное использование АЗРФ значительно осложняется суровостью его климата. Эксплуатация вооружения и военной техники, в частности летательных аппаратов (ЛА), сильно затрудняется условиями экстремально низких температур. Особенно страдает эффективность технической эксплуатации в виду того, что обслуживание, диагностика и ремонт ЛА занимают достаточно большое количество времени в сравнении с более южными регионами нашей страны. Это объясняется отсутствием или ограниченным наличием такой важной составляющей в условиях низких

температур как тепло.

Для генерации и подвода теплоты к авиационной технике (АТ) применяют средства наземного обслуживания общего применения, такие как передвижные и самоходные подогреватели [3].

Они представляют собой установки, в которых создается поток теплового воздуха или смесь с продуктами сгорания жидкостного топлива. В таких средствах используется тепловая энергия, получаемая при сжигании жидкого топлива. Речь идет о таких подогревателях, как унифицированный моторный подогреватель УМП-350-131, МПМ-85, МП-44БМ, МП-70 и др. Данные средства наземного обслуживания имеют высокую востребованность и широкое распространение, как на военных, так и на гражданских аэродромах. Но, несмотря на это, они имеют несколько недостатков, таких как:

- сложность запуска при низких температурах;
- большое количество сливо-наливных операций, производимых с дополнительными резервуарами с жидким топливом, а также опасность их разгерметизации может привести к взрывам и пожарам [4];

- существенная нагрузка на окружающую среду в случае протечки топлива из резервуара, а также при выбросах вредных веществ из-за процесса сжигания колоссального количества топлива. Данные выбросы усугубляют процесс образования газовых примесей в атмосфере, что в особенности актуально для хрупкой экосистемы районов Севера;

- длительные задержки при подаче теплотехнических средств наземного обслуживания к местам стоянки АТ, ограниченное время их непрерывной работы, содержание специального штата сотрудников для их обслуживания.

Для нивелирования вышеуказанных недостатков и повышения качества обслуживания и ремонта ЛА в АЗРФ предлагается технология генерации и подвода теплоты к АТ за счет использования геотермальной энергии Земли (рисунок 1) [5].

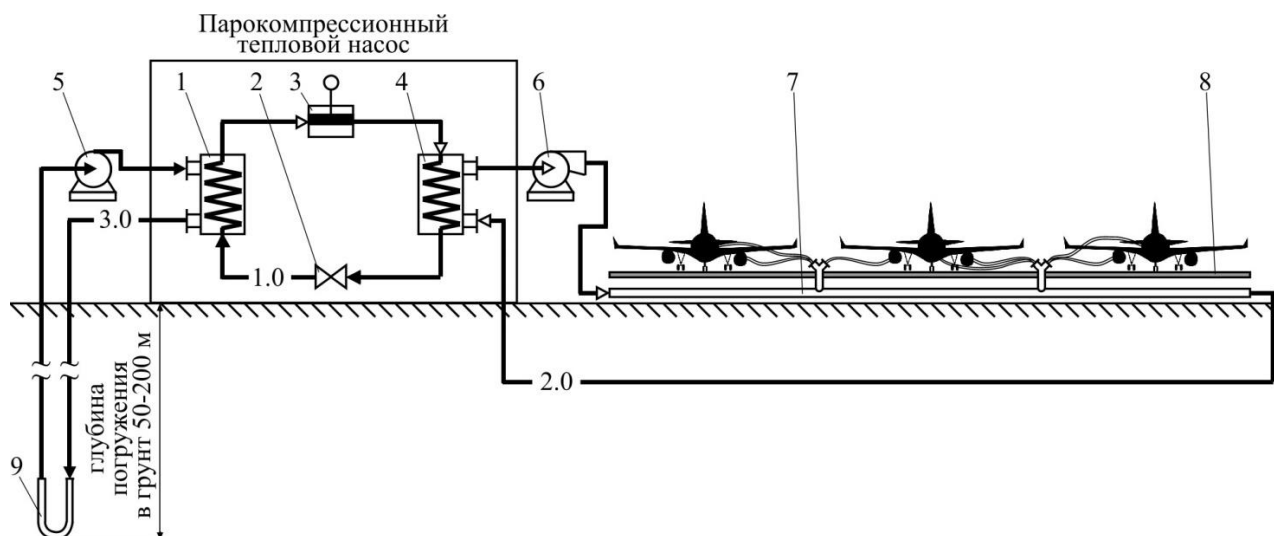


Рисунок 1 – Технология генерации и подвода теплоты к АТ за счет использования геотермальной энергии Земли: 1 – испаритель теплонасосной установки, 2 – терморегулятор, 3 – компрессор теплонасосной установки, 4 – конденсатор; 5 – насос; 6 – вентилятор; 7 – трубопровод горячего воздуха; 8 – стоянка АТ; 9 – теплообменник; 1.0 – замкнутая линия циркуляции рабочего тела теплонасосной установки, 2.0 – замкнутая линия циркуляции «горячего» воздуха, 3.0 – замкнутая линия циркуляции промежуточной жидкости

Основополагающим устройством для реализации предлагаемой технологии, позволяющим повышать потенциал геотермальной энергии Земли и подводить тепло к АТ, является парокompрессионная тепловая установка [6].

Парокompрессионная тепловая установка состоит из испарителя 1, терморегулятора 2, компрессора 3, конденсатора 4.

В качестве рабочего тела тепловой установки используется Хладон R245fa – газ, не оказывающий пагубного воздействия на озоновый слой. Основные технические характеристики рабочего тела, а именно температуры кипения и конденсации, позволяют вести термодинамический цикл тепловой установки при низких температурах районов крайнего Севера для выработки тепловой энергии [12].

Работа тепловой установки заключается в том, что рабочее тело в компрессоре сжимается до давления конденсации и по линии циркуляции рабочего тела 1.0 направляется в конденсатор 4. Конденсация хладона сопровождается выделением тепла, которое передается воздуху через разделительную стенку сред в конденсаторе 4. Затем нагретый воздух направляется в линию циркуляции «горячего» воздуха 2.0 с помощью вентилятора 6 откуда попадает в трубопровод горячего воздуха 7, откуда по мере необходимости отбирается и подается к АТ.

Воздух, подводимый к АТ, может быть нагрет до 120 °С. При этой температуре нагрева воздуха будет зависеть от величины воздействия компрессора на рабочее тело тепловой установки. Подвод теплоты к конкретному месту АТ позволяют осуществить съемные рукава, которые подключаются к оборудованным местам трубопровода горячего воздуха. Холодный воздух после трубопровода горячего воздуха возвращается в конденсатор тепловой установки для очередного подогрева до заданной температуры.

Давление рабочего тела после конденсатора тепловой установки снижается с помощью терморегулятора 2 и направляется в испаритель 1. Там происходит процесс кипения рабочего тела, что сопровождается поглощением тепла от промежуточной жидкости хладоном через разделительную стенку сред в испарителе. Промежуточной жидкостью может служить любая жидкость температурой замерзания ниже, чем минимальная температура окружающей среды, например, распространённый Тосол А-65. Его температура замерзания ниже минус 65 °С.

Для отбора геотермальной тепловой энергии из недр Земли осуществляется заглубление замкнутой линии циркуляции промежуточной жидкости 3.0, в нижней точке которой на глубине около 200 м располагается теплообменник, чаще в виде латинской буквы «U». Задача теплообменника использовать геотермальную энергию земли, за счет обмена температурным потенциалом между промежуточной жидкости и теплотой земли, находящуюся намного ниже слоев вечной мерзлоты. Для повышения эффективности работы теплонасосной установки возможно использование нескольких замкнутых линий циркуляции промежуточной жидкости, заглубленных в толщу Земли.

Промежуточная жидкость, забирая тепло от толщи Земли, перекачивается насос 5 в испаритель 5 тепловой установки. Там тепло передается рабочему телу, которое переходит в газообразное состояние за счет кипения при пониженном давлении.

Охлаждающая жидкость, проходя по контуру рециркуляции 3.0, нагревается от грунта и направляется с помощью насоса 5 к испарителю 1 пароконденсационного теплового насоса, где через теплообменник отдает тепло хладону, который кипит при пониженном давлении и переходит в газообразное состояние.

Рабочее тело в виде газа из испарителя 1 по замкнутой линии циркуляции рабочего тела 1.0 поступает в компрессор 3, который сжимает газ, за счет чего рабочее тело снова переходит в жидкое состояние и далее осуществляется следующий цикл работы тепловой установки.

Реализация предлагаемой технологии может быть организована только с применением средств автоматизации. При этом целесообразно использование микропроцессорного управления, при котором информация с помощью датчиков передается с объектов управления микропроцессору, в котором по сигналу отклонения текущего значения параметра (температура, давление, расход) с заданным значением вырабатывается управляющий сигнал на исполнительный механизм.

Новое компоновочное решение подвода теплоты к АТ за счет использования пароконденсационной тепловой установки с использованием микропроцессорного контроля и управления технологическими параметрами позволит повысить эффективность технической эксплуатации АТ в условиях Севера, а именно:

- сократить время подготовки к процессу подачи тепла к АТ;
- обеспечить заданные температуру горячего воздуха и расход, их оперативную регулировку для реализации различных эксплуатационных мероприятий на АТ;
- снизить финансовые затраты для выработки тепла [7];
- повысить пожарную и промышленную безопасность процесса выработки тепла и его подачи к АТ;
- повысить экологическую безопасность окружающей среды.

Указанные положительные стороны предлагаемой технологии будут способствовать расширению применения тепла для реализации технического обслуживания и ремонта, и других эксплуатационных мероприятий на АТ для создания благоприятных условий труда инженерно-технического состава круглосуточно [8].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Самохин А. А.* Значение арктического региона в современных геополитических реалиях / А. А. Самохин // Культура. Духовность. Общество. – 2014. – № 14. – С. 71-82. – EDN RBTQMV.
2. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года: Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
3. Эксплуатация боевой авиационной техники. Техническая эксплуатация боевой авиационной техники: учебное пособие / Е. В. Фетисов [и др.] – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2022. – 340 с.
4. Оценка пожарной опасности «больших дыханий» наземных резервуаров для хранения нефтепродуктов численными методами / С. А. Шевцов, Д. В. Каргашилов, С. В. Потеха, И. А. Быков // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, № 1. – С. 43-51. – DOI 10.18322/PVB.2017.26.01.43-51. – EDN XWVMKV.
5. *Фетисов Е. В.* Использование геотермальной энергии Земли для генерации и подвода теплоты к авиационной технике в условиях Арктики / Е. В. Фетисов, С. А. Шевцов // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика - регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в Арктическом регионе : материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 27 октября 2022 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева, 2022. – С. 112-115. – EDN KQQRUF.
6. *Елистратов С. Л.* Комплексное исследование эффективности тепловых насосов : специальность 01.04.14 "Теплофизика и теоретическая теплотехника" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Елистратов Сергей Львович. – Новосибирск, 2010. – 383 с. – EDN QEWYRV.
7. *Шевцов С. А.* Об экономической целесообразности применения современных средств обеспечения пожарной и промышленной безопасности объектов хранения нефтепродуктов / С. А. Шевцов, Д. В. Каргашилов, С. В. Потеха // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – 2017. – С. 265-270.
8. *Фетисов Е. В.* Роль влияния микроклимата в помещениях технико-эксплуатационной части на безопасность полетов / Е.В. Фетисов, С.А. Шевцов, К.Ю. Чернобровкин // Перспективы развития авиационных комплексов государственной авиации и их силовых установок: Сб. науч. ст. по материалам IX Международной науч.-практ. конф. «Академические Жуковские чтения» (23–25 ноября 2021 г.). – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА». – 2022. – С. 118-120

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С КОЛЕБАНИЯМИ В РОТОРЕ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Ступина А. А.

Гольдварг Е. С.  
(научный руководитель)

*ГБПОУ «ИАТ»  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** В данной статье рассмотрен вопрос колебаний в роторе авиационных двигателей, источники их возникновения и возможный метод решения данной проблемы.

Произведен анализ причин возникновения колебаний, обозначены возможные риски деформации материала вследствие усталостных нагрузок.

**Ключевые слова:** ротор, двигатель, вибрации, балансировка, демпфер, колебания.

Колебания ротора турбины связаны с динамическими нагрузками в авиационных двигателях. Такие колебания провоцируют возникновение процессов многоциклового усталости материалов. Обеспечение динамической прочности силовой установки – одна из самых сложных задач на этапе разработки и во время эксплуатации. Динамическая прочность обусловлена действием динамических нагрузок, которые близки к собственным частотам колебаний деталей двигателя. Уменьшение колебаний и повышение живучести ротора на расчётных режимах является важнейшим условием для обеспечения надежной работы силовой установки [6].

При работе авиационного двигателя на каждый отдельный компонент ротора действует направленная перпендикулярно к оси вращения центробежная сила. В роторе должна распределяться масса симметрично оси вращения, это значит, что к любому компоненту ротора можно сопоставить другой симметричный компонент. В сбалансированном роторе центробежная сила уравновешивается другой такой же силой, но действующей на симметричный элемент. Центробежные силы, действующие на элементы ротора 1 и 2 (на рис. 1 аналогично подписаны), противоположные по направлению и равные по значению. Это правильно для всех элементов ротора при их симметричном расположении, и в таком случае, сумма центробежных сил, действующих на ротор, равна нулю. Но если равенство сил нарушено, то на ротор начинают действовать колебания из-за неуравновешенной центробежной силы  $F_3$  (на рис. 1 обозначена аналогичной подписью).

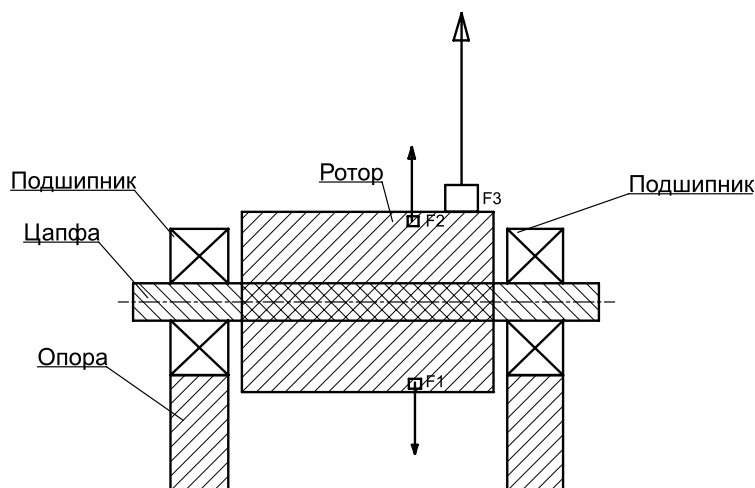


Рисунок 1 – Силы, действующие в роторе

Динамическая нагрузка, возникающая из-за действия силы, которая меняет направление вместе с изменением поворота ротора, передается на подшипники, что приводит к их быстрому износу и циклической деформации опор и фундамента ротора.

Чтобы предотвратить разбалансировку ротора, используют специальные станки, которые через нахождения величины определяют места установки уравнивающих масс [2].

Для балансировки элементов ротора используют резонансные балансировочные станки (Рис. 2).

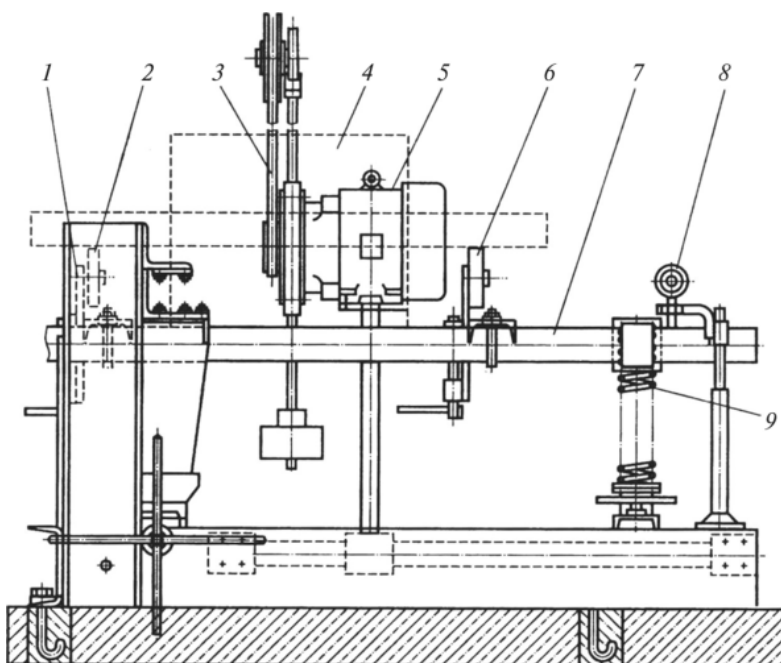


Рисунок 2 – Резонансный станок. *Источник:*

[https://studref.com/468780/tehnika/balansirovka\\_rotorov](https://studref.com/468780/tehnika/balansirovka_rotorov)

1, 9 – пружины; 2, 6 – опоры; 3 – ремень; 4 – защитный щиток; 5 – балансируемый ротор; 7 – плита; 8 – индикатор



Балансировка помогает устранить вибрации, вызванные несимметричностью массы ротора с помощью установки грузов [3].

Для жестких роторов достаточно установить два компенсирующих груза (Рис. 3). При этом будет устранена как статическая, так и динамическая неуравновешенность.

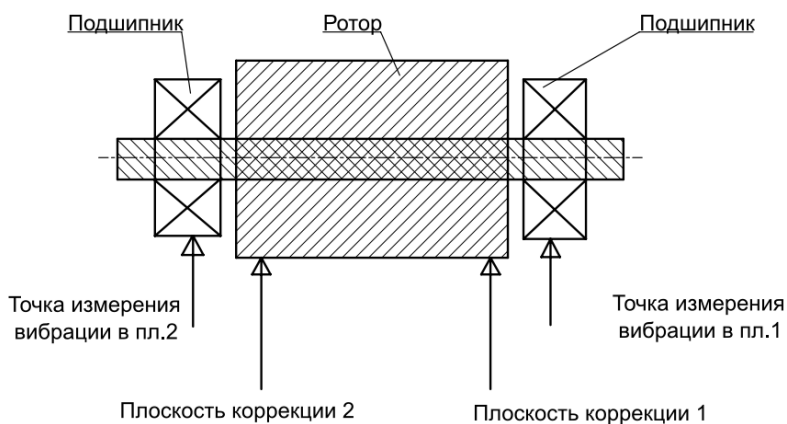


Рисунок 3 – Схема вибрации при проведении балансировки

На опоры с подшипниками в точках 1 и 2 устанавливаются датчики вибрации. На роторе закрепляется метка оборотов. Метка оборотов используется для определения скорости вращения ротора и фазы вибросигнала.

Конструкция опоры (Рис. 4) должна быть надежной, поскольку она передает осевые и радиальные нагрузки, возникающие в процессе работы двигателя через корпус на узлы крепления. Чтобы устранить часть вибрационных сил, вызванных работой ротора, устанавливаются демпфирующие устройства, которые устранят большую часть колебаний.

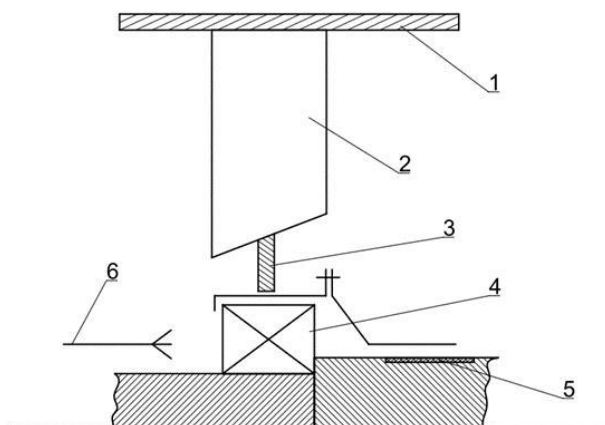


Рисунок 4 – Конструкция опоры: 1 – внешнее силовое кольцо; 2 – радиально силовой элемент; 3 – внутреннее силовое кольцо; 4 – подшипник; 5 – масляные уплотнители; 6 – элементы крепления подшипника

Вкладыш радиального подшипника скольжения помещается внутри нескольких стальных стаканов (Рис. 5), размещенных друг в друга с зазором (0,1...0,15 мм). Во время работы ротора стаканы совершают вибрирующие движения относительно друг к другу. В это же время масло, направляясь к подшипнику, может как всасываться в зазоры между стаканами, так и вытесняться из них. Из-за небольшой величины зазора между стаканами небольшие перемещения стаканов направление поперек приводят к продольным и окружным перемещениям масла в зазоре с большими скоростями. Возникающие вязкие силы трения при этом демпфируют колебания.

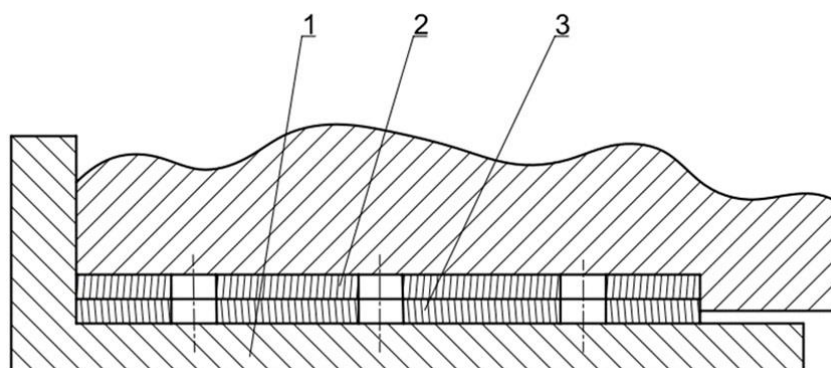


Рисунок 5 – Устройство демпфера: 1 – стальные стаканы; 2, 3 – стальные гильзы-уплотнители

Количество демпферов и их расположение должны обеспечивать требуемое демпфирование всех резонансных режимов на расчетных режимах двигателя.

При этом принимается во внимание, что работа демпфера будет эффективной, если на подлежащем демпфированию резонансном режиме реализуются близкие к максимальным относительным перемещениям ротора и корпуса по соответствующей этому режиму форме колебаний [1].

Основным элементом опоры является подшипниковый узел.

Самым важным качеством подшипника, влияющего на динамическую устойчивость роторов, является анизотропия – различие динамической подачи масляной пленки в горизонтальном и вертикальном направлениях. Чем выше анизотропия масляной пленки, тем выше виброустойчивость системы ротор-подшипник.

Подшипники должны обладать высоким уровнем демпфирования, малыми циркулярными силами, высокой анизотропией и при этом иметь достаточную несущую способность с допустимой толщиной масляного слоя. Для исключения задевания в подшипниках минимальная толщина масляного слоя должна быть не менее 100 мкм.

Воспринимает радиальную нагрузку и осевую в обе стороны, не превышающую 70 % неиспользованной допустимой радиальной нагрузки, другими словами, разность между допустимой, в данных условиях, и действующими радиальными нагрузками.

Вибрация двигателей измеряется вибропреобразователями, специальными датчиками вибрации. Измерение вибрации выполняется при их эксплуатации и при всех видах испытаний двигателей. При измерении вибрация авиационного двигателя анализируется с двух сторон. С одной стороны, высокий уровень вибрации может стать причиной усталостных нагрузок и вследствие чего поломок элементов конструкции авиационного двигателя и размещенных на нем агрегатов. По этой причине существует допустимый уровень вибрации, с превышением которого работа двигателя не допускается, такой уровень прописан в ГОСТе на допустимые уровни вибрации. С другой стороны, повышение или скачок вибрации может сигнализировать о появившейся или развивающейся неисправности какого-либо компонента двигателя. В связи с этим разрабатываются методы вибродиагностики, позволяющие по характеру изменения вибрации определить тип неисправности двигателя [4].

Для снижения уровня вибрационных напряжений применяются следующие способы:

1) Перепрофилирование лопатки. Изменение закона распределения площади сечения по высоте лопатки поможет защититься от сильной гармоникой возбуждения (Рис. 7 а).

2) Бандажирование полками. Этот способ предполагает создание внешнего кольца, которое обеспечит сцепление лопаток. (Рис. 7 б). Такое кольцо создаст дополнительную связь между лопатками и повысит динамическую устойчивость конструкции. При этом, применение полок в двигателе должно закладываться на этапе проектирования, поскольку создаётся дополнительное препятствие рабочему телу двигателя.

3) Бандажирование проволокой. Кольцевая связь лопаток образуется при помощи проволочных сегментов, которые выполняются отдельно от лопаток (Рис. 7 в). При данном способе влияние на жесткость конструкции и собственное колебание лопаток меньше [5].

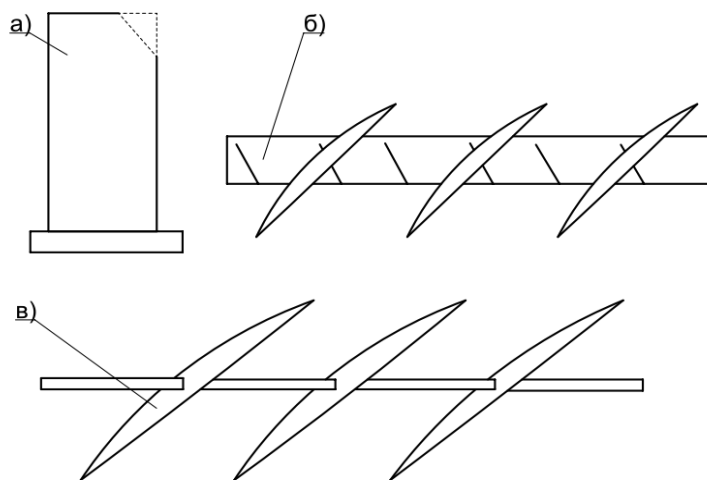


Рисунок 7 – Способы снижения вибрационных напряжений в лопатках: а) подрезка уголка, б) бандажирование полками, в) бандажирование проволокой

Рабочие лопатки авиационного двигателя одни из самых нагруженных и ответственных элементов, которые могут повлиять на другие элементы ротора.

Для повышения надежности работы подшипникового узла ротора авиационного двигателя, за счет уменьшения высоких колебаний, вызванные усталостью материала лопаток и вследствие увеличения усталостных нагрузок, как никогда подходят композиционные материалы.

Композитные материалы, используемые для ротора двигателя, обязательно должны обеспечивать требуемые прочностные свойства и быть термостойкими, также предъявляется требование по удельной жесткости (в пределе не менее 29,2 МПа-м<sup>3</sup>/кг), в противном случае возможно возникновение усталостных трещин при работе ротора.

Для повышения эксплуатационной надежности, в базовый материал (матрицу) композитного материала необходимо внедрить армирующие элементы с более высокими прочностными характеристиками.

В таблице 1 приведены основные свойства армирующих компонентов и матриц.

Таблица 1 – Свойства матриц и армирующие волокна

Название материала	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности $\sigma_B$ , МПа	Модуль упругости $E$ , ГПа	Удельная прочность $D$ , Мпа*м <sup>3</sup> /кг	Удельная жесткость $B$ , МПа*м <sup>3</sup> /кг
Армирующие волокна					
Бериллиевая проволока	1850	1391	300	0,75	162,34
Керамические волокна	2520	1760	130	0,70	51,59
Стальная проволока	7850	3000	210	0,38	26,75
Вольфрамowo-молибденовая проволока	18950	1850	410	0,10	21,64
Титановая проволока	4540	1600	112	0,35	24,67
Волокна бора, карбида кремния	2430	3150	443	1,30	182,30
Стеклоанное волокно	1700	2650	60	1,56	35,29
Органические волокна	1145	450	3	0,39	2,62
Высокопрочное углеродистое волокно	1020	2250	225	1,32	132,35

Матрицы					
Полиимид	1370	145	4	0,11	2,92
Магниевые сплавы	1830	322	45	0,18	24,59
Алюминиевые сплавы	2780	360	70	0,13	25,180
Титановые сплавы	4490	898	112	0,20	24,94
Полиамид	1350	120	3	0,09	2,22
Полиэфирная смола	1340	76	2	0,057	1,49
Эпоксидная смола	1100	70	3	0,06	2,73
Полиамидоимид	1420	190	5	0,134	3,52

Внешний слой лопаток стоит армировать непрерывными или полунепрерывными высокопрочным углеродистыми волокнами, так как углеродистое волокно имеет высокие прочностные свойства, также их можно ориентировать в различные направления, а сам слой волокон стоит выполнять в виде тканевого материала из множества переплетающихся нитей.

Произведенный анализ различных материалов показал, что в качестве армирующего элемента хорошо подходит углеродистое волокно с нанотрубчатой структурой, а основой для композитного материала может послужить полиамидоимид из-за своих эксплуатационных характеристик.

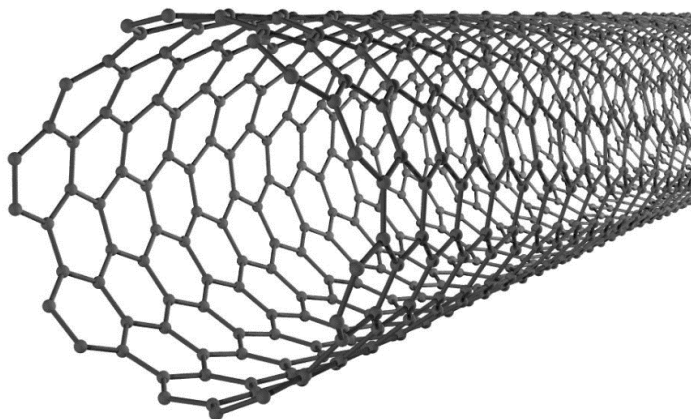


Рисунок 8 – Нанотрубка. *Источник:*  
<https://in.pinterest.com/pin/666955026040729575/>

Значительно упрощает изготовление компонентов то, что материалы на основе полиамидоимида, – изотропны.

В результате проведенного анализа композитных материалов, используемых наиболее чаще в машиностроении, можно предположить, что

полиамидоимидная матрица, армируемая углеродными волокнами, является наиболее подходящей композицией для замены традиционных материалов рабочей лопатки.

Его реализация может быть совмещена с другими конструктивными мерами, направленными на уменьшение колебательных процессов в роторе, и усилить их совокупность, что позволит увеличить срок службы роторов силовой установки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ананьев И. В., Тимофеев П. Г.* Колебания упругих систем в авиационных конструкциях и их демпфирование. – М.: Машиностроение, 1965. – 526 с.
2. Введение в балансировку роторов [Электронный ресурс] – URL: [https://habr.com/ru/articles/722648/Введение в балансировку роторов](https://habr.com/ru/articles/722648/Введение_в_балансировку_роторов) (дата обращения: 20.11.2023)
3. *Казанджан П. К.* Теория авиационных двигателей / Теория лопаточных машин / П. К. Казанджан, Н. Д. Тихонов, А. К. Янко. – М.: «Машиностроение», 1983. – 217 с.
4. *Попов В. Г. и др.* Диагностика, неразрушающий контроль и анализ разрушений. Учебное пособие. – М.: МАТИ, ЦИАМ, 2004. – 328 с.
5. Флаттер лопаточных венцов компрессоров [Электронный ресурс] – URL: <https://studfile.net/preview/9347469/page:3/> Флаттер лопаточных венцов компрессоров (дата обращения: 20.11.2023)
6. *Хориков А. А.* Прочность и динамика авиационных ГТД и стационарных ГТУ. Учебное пособие / А. А. Хориков, С. С. Калачев, Ю. И. Павлов. – М.: ЦИАМ, 2007. – 283 с.

**УДК 629.7**

## ВВЕДЕНИЕ ТКАННЫХ ШАРНИРОВ И СПОСОБЫ ИХ ОБСЛУЖИВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ В ОБЛАСТЬ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Шипулин А. Е., Курочкин С. О.

Левшонков Н. В., канд. техн. наук  
(научный руководитель)

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А. Н. Туполева – КАИ  
(г. Казань)*

**Аннотация.** В данной статье раскрывается тема применения в рулевых поверхностях БПЛА навески, выполненной из тканых материалов. Их преимущества и недостатки. А также на основе их недостатков выведены методы их эксплуатации и обслуживания, в ходе которых сможем понять целесообразность их применения.

**Ключевые слова:** тканый шарнир, ось вращения, ПКМ, композит, кевлар, рулевая поверхность.

Тканый шарнир – это узел навески летательного аппарата, выполненный из ПКМ, в основе которого применяются ткани различного вида. Данный шарнир работает по типу механизма: в оси вращения узла, в ткани отсутствует матрица (связующее), вследствие чего рулевая поверхность ЛА приводится в движение (Рисунок 1).

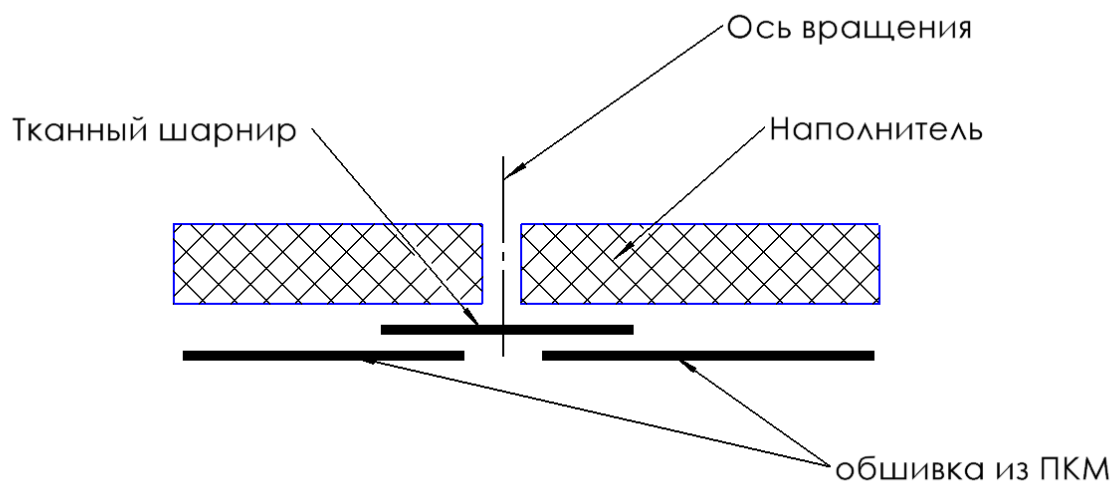


Рисунок 1 – Тканый шарнир

Данные шарниры широко применяются в области авиамоделирования, так как данный вид навески имеет ряд преимуществ на фоне стандартных вилочных узлов навески:

1. Простота изготовления

Данный шарнир является частью монослоя. При изготовлении его выкладывают между слоями относительно оси вращения. После завершения формования детали производят удаление слоев ПКМ в оси вращения и разработку рулевой поверхности, чтобы обеспечить плавность хода рулящей поверхности.

2. Малый вес

Данный шарнир весит значительно меньше на фоне других узлов навески, так как состоит только из ткани, проходящей по области изгиба.

3. Не требует регулировки относительно оси вращения

Данный вид шарнира требует точного надреза относительно оси вращения и не требует выставления и точной регулировки, так как данное соединение проходит по всей поверхности оси вращения, вследствие чего получаем большой плюс из данной конструкции

4. Вероятность заклинивания управляющей поверхности сводится к минимуму

5. Имеет большую прочность на растяжение кручение.

Так как эта конструкция выполняется из кевларовых тканей, которые в свою очередь обеспечивают высокую прочность на растяжение и сжатие.

Кевлар – это общепринятое в обществе название армидной ткани, то есть такой, которая производится из пара-армидного волокна. Фактически он представляет собой синтетический продукт специального назначения, который зачастую используется для создания спецодежды и средств индивидуальной защиты. А также узел навески располагается по всей поверхности оси вращения, вследствие чего нагрузка распределяется равномерно.

Данная конструкция также обладает недостатками:

1. Отсутствие методов обслуживания и сложность обнаружения дефектов на поверхности ткани.

2. Требуется более правильную и точную выкладку ПКМ согласно конструкторской документации.

3. Увеличение объемов оснастки, т.е. оснастка должна включать в себя агрегат с элементом управления. При постройке крыла оснастка должна включать в себя крыло со всей механизацией элеронами и закрылками.

4. При больших объемах деталей постройка ЛА аппарата будет производиться в более сложных условиях, включая демонтаж вращающихся поверхностей.

Основываясь на данных преимуществах и недостатках, из этого можем сделать вывод о том, что данная схема шарниров будет востребована в беспилотных летательных аппаратах малых габаритов от 1-4 метров в размахе.

Способы обнаружения дефектов на шарнирах представленного типа на БПЛА размахом до 4 метров:

1. Визуальный осмотр на наличие надрывов, катышей, а также расслоений ПКМ в области оси вращения.

2. Тестирования прочности ткани на разрыв – это метод испытания прочности и долговечности ткани, посредством перпендикулярного растяжения ткани по оси, для проверки максимальной нагрузки, которую ткань может выдержать перед разрывом.

Данное испытание на прочность ткани можно производить при помощи испытательного стенда либо вручную задать растяжение. При средних нагрузках на растяжение данный тип шарнира не должен издавать звуков надрыва ткани и скрежет при подъеме вверх и низ.

3. Проверка ткани на истирание или изнашивание вследствие длительного трения или механической фрикции. Данную проверку можно произвести при помощи толщинометра или микрометра. Толщина износа должна не превышать норму, заданную в технической документации, при обнаружении дефектов деталь БПЛА необходимо отправить на более тщательную проверку, в ходе которой будет дано экспертное заключение о состоянии шарнира (Рисунок 2).

4. Проверка ткани на изменение размеров при перепадах температур и влажности. Данную проверку можно производить при помощи линейки и базовых точек, которые будут нанесены на поверхность агрегата и рулевой поверхности. При замере рулевая поверхность должна находиться в нулевой точке (Рисунок 3).



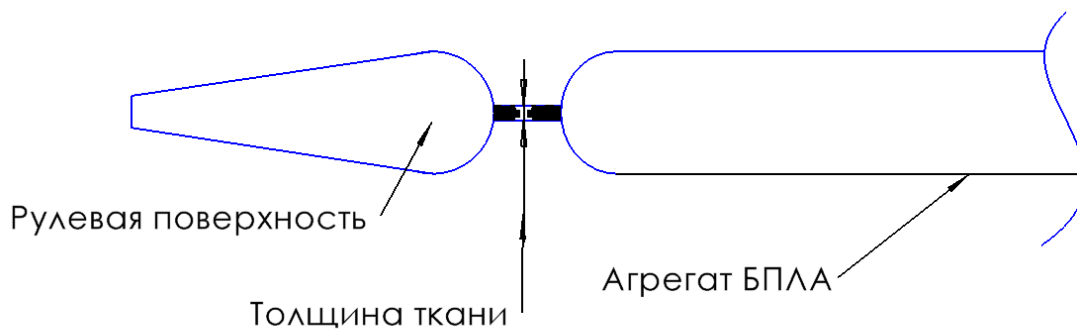


Рисунок 2 – Вид на тканый шарнир спереди

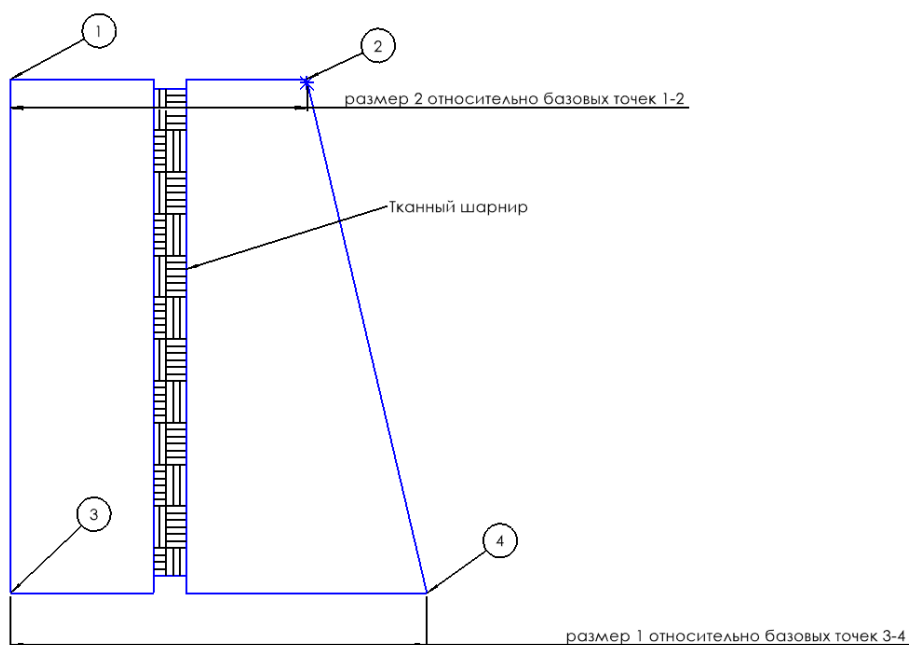


Рисунок 3 – Вид на тканый шарнир сверху

#### Эксплуатация тканного шарнира.

1. Устранение грязи с поверхности шарнира. Чтобы не допустить расслоения ткани и ее перетирания образивом в виде песка и грязи, после каждой посадки рулевую поверхность необходимо очистить и произвести протирку влажной тряпкой.

2. Нанесение на поверхность шарнира растворов, защищающих от ультрафиолета и влаги.

На основе вышесказанного можно сделать вывод о том, что данный вид навески имеет как свои преимущества, так и недостатки в области производства, их эксплуатации и обслуживания. Эти недостатки в большей степени связаны со своей непопулярностью и малым числом исследований. Так как для введения данного типа навески в большую авиацию требуется ряд исследований на тестовых образцах, чтобы сформировать эксплуатационный минимум и максимум, различных тканых материалов, в разных

эксплуатационных условиях. И на основе этих исследований вывести типы проверок и документацию, которая будет давать четкое понимание, что делать в тех или иных условиях. Пока что данный тип шарнира хорошо подходит только для малой беспилотной авиации, так как требует малых затрат на производство и требует малого числа проверок данного агрегата из-за своих малых габаритных размеров, что в свою очередь позволяет производить быстрое обнаружение дефектов агрегата, а также его эксплуатацию.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кербер М. Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учебное пособие / М. Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г. С. Головкин [и др.]: под ред. А. А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2008 – 560 с., ил.
2. Вяжущие вещества: учебное пособие / О.А. Ларсен [и др.]: М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. Исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. – 2-е изд. – Москва: Издательство МИСИ-МГСУ, 2018. – 112 с.
3. Серёгин А. А. Техническая механика: учебное пособие / А. А. Серёгин, И. В. Исупова, В. П. Забродин. – Зеленоград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2020. – 232 с.

**УДК 625.7.08**

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГИДРОАЭРОДРОМОВ ДЛЯ МЕСТНЫХ АВИАЛИНИЙ

Шустиков С. А.

Першин Е. А.  
(научный руководитель)

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А. Н. Туполева  
(г. Казань)*

**Аннотация.** В статье обобщены основные проблемы развития системы местных авиалиний, которые наиболее востребованы на Востоке России: Красноярском крае, Республике Саха, Хабаровском крае, Магаданской области, Чукотском автономном округе. Рассмотрены основные составляющие при эксплуатации гидроаэродромов и предложены варианты действий для улучшения деятельности авиаперевозок с использованием гидроаэродромов.

**Ключевые слова:** гидроаэродромы, шасси на воздушной подушке, региональная авиация, развитие местных авиалиний.

Перевозка людей на местных авиалиниях слабо развита на Западе России в отличие от восточных регионов, такие как Красноярский край, Республика Саха, Хабаровский край, Магаданская область, Чукотский автономный округ. В

данных регионах использование малой авиации весьма активно из-за отсутствия дорог, по которым может проехать личный автомобиль. Даже пассажироперевозки на грузовиках является большим риском из-за качества дорог, а также погодных условий, которые ухудшают качество дорог.

На данный момент в вышеперечисленных восточных регионах страны активно используются грунтовые аэродромы для обслуживания авиационной техники, такой как самолёты малой авиации и вертолёты, но многие грунтовые аэродромы не имеют возможности заниматься пассажиро- и грузоперевозками в весенние и осенние периоды из-за ухудшения грунтового покрытия взлётно-посадочных полос. По этой же причине некоторые аэродромы прекращают работу из-за климата, который не даёт высохнуть полосе, и поэтому использование таких аэродромов прекращается.

Решением данной проблемы может быть использование гидроаэродромов и гидроавиации как в совокупности с грунтовыми аэродромами, так и без них. Гидроаэродром – это участок акватории и участок земли с расположенными на нем зданиями, сооружениями и оборудованием, предназначенный для взлёта, посадки, руления и стоянки воздушных судов.

Одним из главных преимуществ использования гидроаэродромов и соответствующей авиации является альтернативный способ доставки снабжения, таких как топливо, детали для ремонта и необходимое продовольствие в том числе. Доставка снабжения во время судоходства может проходить по акватории реки, на которой находится гидроаэродром с помощью речных кораблей, во время закрытия судоходства и пока ещё не встал лёд с помощью судов на воздушной подушке, а в зимнее время, когда дороги промерзают и становятся более безопасными для езды с помощью грузовиков.

Данный вариант использования гидроаэродромов не предусматривает решения проблемы эксплуатации авиации в весеннее и осеннее время. Но, пока ещё лёд не встанет на воде, можно использовать гидроаэродром, а как только лёд будет слаб для посадки и уже промерзнет земля, можно будет использовать грунтовый аэродром или наземный транспорт.

Также, при дальнейшем развитии гидроаэродромов, можно предложить использование самолётов с шасси на воздушной подушке, которые будут иметь возможность садиться как на воду, так на лёд и грунт. Разработка таких видов шасси в России остановилась на самолёте Динго. Но используя и анализируя его конструкцию, самолёт можно доработать и он имеет большой потенциал.

В качестве примера месторасположения использования гидроавиации и гидроаэродромов приводится акватория реки Лены между городами Якутск и Сангар. Между этими городами можно делать остановки возле сёл и посёлков вдоль реки Лены, где будет возможность доставлять снабжение по реке, как было сказано выше. На рисунке ниже обозначена схема организации земельного участка размещения речного гидроаэродрома с причалом для разгрузки снабжения.

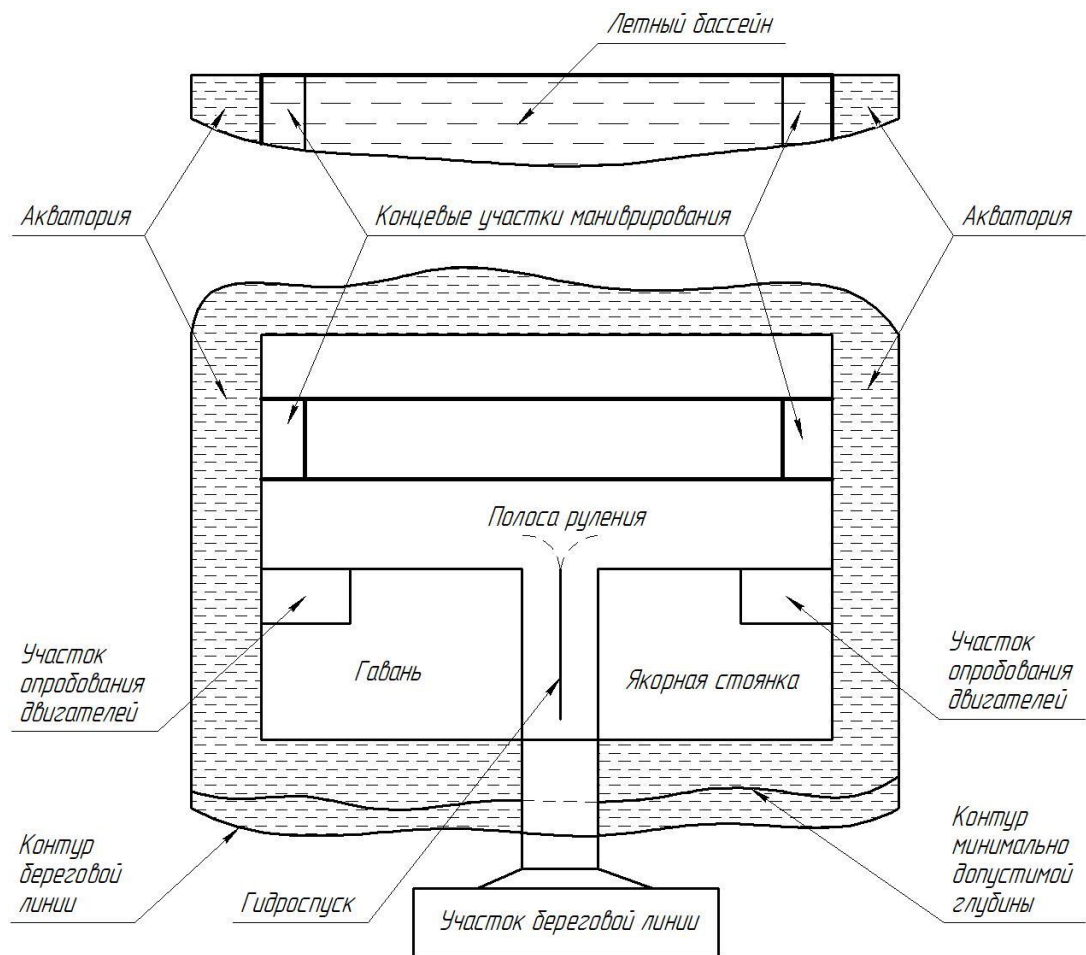


Рисунок 1 – Организация водного и земельного участка размещения гидроаэродрома

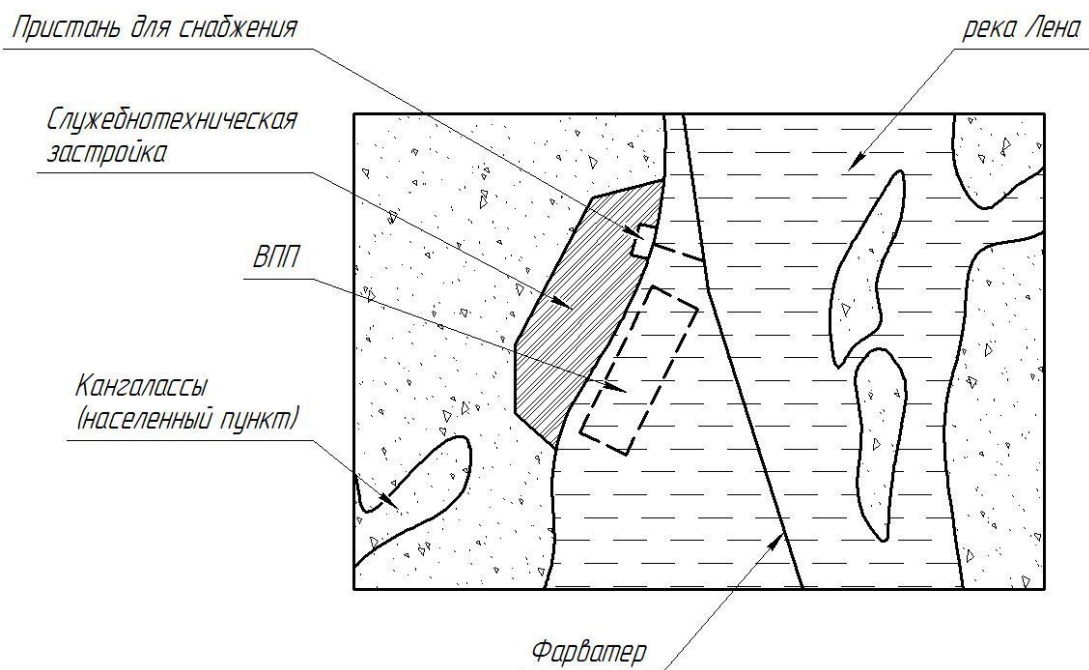


Рисунок 2 – Схема организации гидроаэродрома на реке Лене

При организации и застройке гидроаэродрома необходимо следовать правилам [2], в которых указаны: длина лётной полосы; длина участка лётной полосы, необходимой для маневрирования; глубина лётного бассейна; границы якорной стоянки; расстояние между ВПП и фарватером.

Для определения вышеуказанных размеров необходимо знание лётно-технических характеристик гидросамолётов, которые будут использоваться на данных аэродромах. На данный момент возможно использовать гидросамолёты Л-44м, Л-72, но они рассчитаны на весьма малое количество мест. Из многоместных гидросамолётов есть только разработки, такие как Бе-112 (18-24 пассажира), Бе-114 (44 пассажира), также есть возможность устанавливать поплавки на новый разрабатываемый ЛМС-901 «Байкал», как это делали с Ан-2, и др.

### **Заключение**

Становление транспортной системы востока России можно развивать с помощью гидроавиации:

- для перевозки людей возможно использовать самолеты Л-44м, Л-72 и, в дальнейшем, разработанный ЛМС-901 «Байкал» с поплавковым шасси, которые будут базироваться на гидроаэродроме;
- поставка снабжения будет производиться по судоходным рекам с помощью грузовых кораблей. Такие поставки для дальневосточных регионов будут более стабильные, чем грузовые по суше;
- для начала эксплуатации гидроаэродромов с водным путём снабжения необходима кооперация с судоходством, а также разработка пассажирских гидросамолётов (летающих лодок, амфибий, самолётов с шасси на воздушной подушке).

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Карта Аэродромов России // [Электронный ресурс]. – 2023. URL: <https://maps.aopa.ru/#lon/127.916855/lat/63.240591/z/7/ll/a/bl/om/p/981/mode/r> (дата обращения: 19.11.2023)
2. СП 487.1325800.2020. Гидроаэродромы. Правила проектирования: утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 31 января 2020 г. № 50/пр: дата введения 17.12.2020. – М.: Минстрой России, 2020. – 41 с.

**СЕКЦИЯ**  
**«АВИОНИКА, АВИАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОСИСТЕМЫ И ПИЛОТАЖНО-  
НАВИГАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ»**

---

*Председатель – Котлов Ю. В., заведующий кафедрой АЭС и ПНК, канд. техн. наук, доцент*

**УДК 629.7**

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ПОИСКА ОТКАЗОВ ПУТЕМ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕЛЕГРАМ-БОТА (НА ПРИМЕРЕ БСТО)**

Белков А. Д., Бец В. А.

Колычев С. А.  
(научный руководитель)

*Курсановский авиационный технический колледж – филиал МГТУ ГА  
(г. Курсанов)*

**Аннотация.** Одним из основных путей увеличения часов налета воздушного судна является сокращение времени его простоя на техническом обслуживании, в том числе связанном и с устранением отказов. Для снижения времени устранения отказов современные ВС оснащаются бортовыми системами технического обслуживания БСТО. Однако, если идентифицировать отказ с помощью БСТО возможно, то устранение связано с вероятностным алгоритмом, изложенным в Руководстве по поиску и устранению неисправностей, которое хранится не на месте нахождения ВС. Для повышения экономической эффективности использования ВС предлагается использовать Telegram бот для быстрого доступа к информации об устранении отказа. Описанию данного бота и посвящена данная статья.

**Ключевые слова:** техническое обслуживание, БСТО, устранение отказа, Telegram бот, информационные технологии.

Потребность в бортовой системе технического обслуживания на современных самолетах гражданской авиации вызвана увеличением числа полетов и уменьшением продолжительности стоянки воздушного судна между полетами. Инженерно-техническому персоналу, выполняющему техническое обслуживание самолета, необходимо убедиться в отсутствии CAS сообщений по показаниям БСТО [1]. Если сообщения присутствуют, то можно идентифицировать отказ и возможную причину появления, но для этого необходимо обратиться к Руководству по поиску и устранению неисправностей. Данное Руководство хранится или в электронном виде в производственном отделе, или в печатном виде в техническом центре. От идентификации отказа по сообщению и до обращения к документации по поиску и устранению причины отказа проходит некоторое время, что ограничивает использование воздушного судна. Повышение экономической эффективности использования ВС при обеспечении безопасности воздушных перевозок возможно при постоянном совершенствовании процедур технического обслуживания. Инженерно-технический персонал в постоянном режиме работает над этим. Одно из таких

усовершенствований – использование Telegram бота для совершенствования процедуры устранения отказа путем быстрого доступа к информации об идентификаторе ID отказов и последующего формирования алгоритма устранения данного отказа, сформированного БСТО.

Для этих целей разработан Виртуальный Помощник Поиска Неисправностей (ВППН), реализованный с помощью бота в Telegram.

Бот был разработан с помощью сервиса «Studio» от «Сбера». С помощью сервиса можно создать бот практически любой сложности.

Среда создания выглядит следующим образом (см. рис. 1):

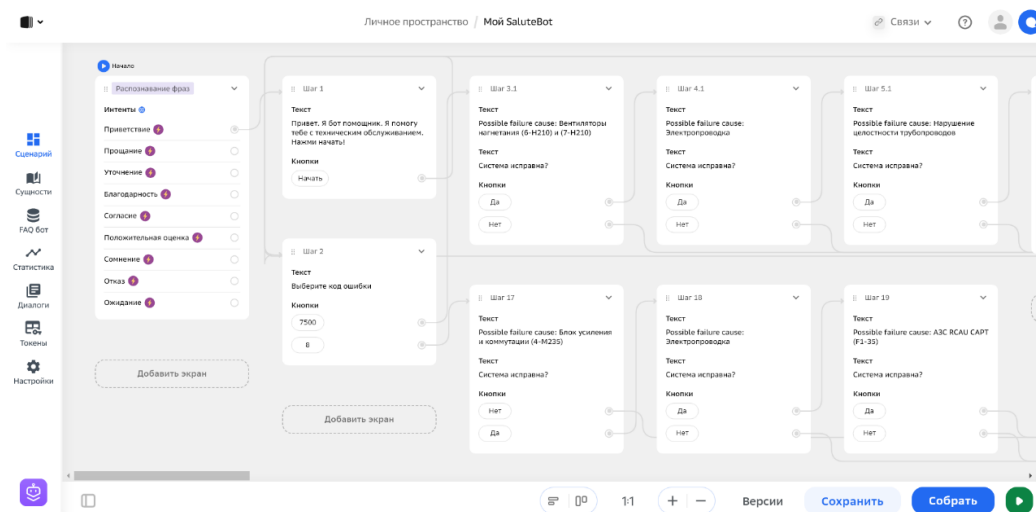


Рисунок 1

Рабочее поле представлено в виде блоков. Их можно связывать друг с другом, писать текст, добавлять кнопки.

После создания сценария создан бот в Telegram и привязан с помощью API кода (статья не будет затрагивать этот процесс).

Для начала работы с ботом необходимо выбрать пункт меню «Старт».

После нажатия бот информирует о его назначении и предлагает дальнейшую инструкцию по использованию.

Основная функция Telegram бота ВППН – предоставление оперативной информации о наиболее вероятной причине отказа и последующему алгоритму устранения отказа по его идентификатору ID.

Отличительная особенность данного бота ВППН заключается в том, что он позволяет инженерно-техническому персоналу получать детальные инструкции по устранению конкретного отказа. Это существенно сокращает время, затрачиваемое на поиск и устранение отказа, а, следовательно, повышает эффективность технического обслуживания и эффективность использования воздушного судна.

После выбора пункта меню «Начать», бот предложит выбрать код ошибки, который сформирован БСТО. В качестве примера рассматривается отказ с идентификатором ID 7500 (отказ обдува авионики с правой стороны в переднем отсеке).

В штатном режиме после отображения на экране или принтере идентификатора отказа ID 7500 требовалось обратиться к Руководству по поиску и устранению неисправностей, в котором после определенных поисковых манипуляций со страницами находилась информация о дальнейших действиях по устранению отказа.

После выбора соответствующего идентификатора отказа, бот ВППН предложит или сообщит наиболее вероятную причину отказа (т.е. укажет следующий шаг алгоритма поиска и устранения отказа), после чего необходимо проверить данный объект и сообщить боту ВППН о результатах проверки.

При отрицательном результате (отказавший объект не определен) бот ВППН предлагает следующий шаг и так до тех пор, пока не будет найден отказавший объект.

На рисунке 2 показан алгоритм поиска и устранения неисправности системы обдува авионики с правой стороны в переднем отсеке на экране смартфона, закончившийся определением нарушения целостности трубопроводов и последующей рекомендацией заменить данный агрегат.

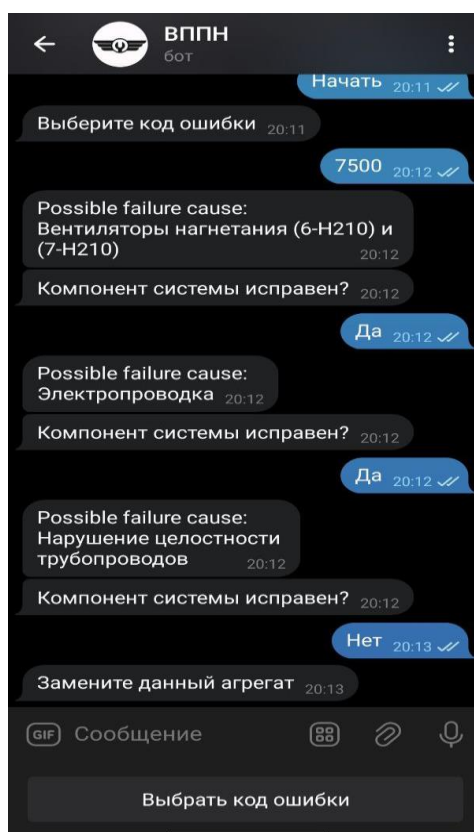


Рисунок 2 – Алгоритм поиска и устранения неисправности на экране смартфона

В перспективе предполагается, что Telegram бот обеспечит возможность взаимодействия между различными специалистами внутри подразделения технического обслуживания.

Бот позволяет обмениваться информацией, делиться результатами диагностирования и координировать работы по устранению неисправностей. Эти операции способствуют сокращению времени устранения неисправности.



Другими преимуществами использования Telegram бота в процессе поиска отказов является его доступность, удобство пользования и возможность настройки на автоматическое оповещение о возникновении отказов, что позволяет оперативно реагировать на их устранение.

Использование Telegram бота для поиска отказов на самолете, оборудованном БСТО, является примером эффективного применения современных информационных технологий для технического обслуживания.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Саввина А. М. Предложение по модернизации бортовой системы технического обслуживания самолета SSJ 100 / А. М. Саввина // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2019. – № 3. – С. 27-35. – EDN YPQSGU.

**УДК 519.85**

## **ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО СТЕНДА АВТОПИЛОТ «КРЕМЕНЬ-40»**

Беспярых Д. А.

Диль В. Ф.

(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** В статье рассматривается технология модернизации учебного стенда Автопилот АП-40, предназначенного для обучения студентов и инженерно-технического персонала. Технология предусматривает изменение облика стенда с обеспечением необходимых эргономических требований и расширением функциональных качеств стенда, максимально приближенных к эксплуатационным функциям автопилота на самолете.

**Ключевые слова:** учебный стенд, автопилот АП-40, «Кремень-40», требования к учебному стенду.

### **Введение**

В процессе изучения дисциплины САУП большое внимание уделяется исследовательской и практической частям обучения, выполняемых на учебных стендах автопилотов и САУ конкретных воздушных судов. Учебный стенд «Автопилот «Кремень-40»» предназначен для получения практических навыков по обслуживанию автопилота самолета Як-40 [1].

Автопилот АП -40 выполняет функции:

- стабилизация и управление углов крена, курса и тангажа, барометрической высоты полета;
- выполнение координированных разворотов, набор высоты, снижение и выполнение спиралей;

– автоматическое триммирование руля высоты с помощью управляемого стабилизатора.

В АП предусмотрено совмещенное управление. Схемное решение и конструкция АП обеспечивают безопасность полета в случае возникновения в нем неисправности. Включение АП не требует предварительной настройки и может производиться на любом курсе и при любом крене, а по тангажу – в зоне углов  $\pm 15$  градусов. При включении АП сохраняется текущий угол тангажа, а по крену самолет выводится в горизонт. В АП предусмотрена возможность отключения канала тангажа [1].

Для получения студентами практических навыков по обслуживанию автопилотов и систем автоматического управления и опыта выполнения регулировочных работ используются рабочие стенды автопилотов и САУ. На кафедре имеется стенд «Автопилот АП-40», позволяющий выполнять некоторые проверки.

Выполнив анализ состояния существующего стенда АП-40, определен перечень необходимых работ и установлены требования по модернизации стенда.

Установлено, что большинство штатных блоков комплекта на стенде имеются в наличии, а именно:

- 1) пульта управления и проверки;
- 2) кнопки отключения и совмещенного управления;
- 3) вычислители крена и тангажа;
- 4) корректор высоты;
- 5) рулевые машины.

Однако ряд выявленных недостатков требуется устранить:

– вычислители крена и тангажа в неисправном состоянии и требуют ремонта и восстановления;

– отсутствие свободного подхода к вычислительным блокам для выполнения необходимых регулировок требует изменения расположения вычислителей стенда;

– отсутствие подхода к рулевым машинам требует выноса их на отдельный стенд;

– отсутствие возможности измерения углов отработки РМ требует разработки и монтажа угломерных устройств, позволяющих измерять углы поворота валов рулевых машин;

– к схеме автопилота на стенде не предусмотрено подключение внешних систем измерения узлового положения самолета, что не позволяет в полном объеме исследовать реакцию автопилота на входные сигналы с помощью датчиков-измерителей;

Разработанные требования к рабочему месту [2]:

– стенд должен отвечать эргономическим требованиям, быть удобным в обслуживании;

– размещение вычислителей и РМ на стенде должно соответствовать размещению их на ВС, обеспечивая эксплуатацию стенда;

- стенд должен позволять получать практические навыки по выполнению регулировок и обслуживанию АП;
- осуществлять поиск и устранение возникающих неисправностей;
- обеспечивать безопасность с точки зрения эксплуатации.

Внешний вид модернизированного стенда представлен на рисунке 1. В итоге модификация стенда включает в себя следующий перечень работ:

- изменение расположения блоков (вычислитель крена и тангажа), обеспечив свободный доступ к элементам регулировки ВК и ВТ, предварительное восстановление работоспособности вычислительных блоков;
- РМ вынести на отдельный стенд, обеспечив к ним свободный подход;
- разработка угломерного устройства на РМ и монтаж на каждую РМ;
- подключение к стенду ГИК (Гироиндукционный компас);
- подключение к стенду ГВ (Гировертикаль);
- разработка комплекта технической документации к стенду.



Рисунок 1 – Внешний вид модернизированного стенда АП-40

### Заключение

Модернизация стенда автопилота «Кремень 40» должна позволить выполнять проверки автопилота на стенде, такие как:

Проверка параметров автопилота:

- Проверка работы механизма согласования тангажа и курса;
- Проверка работы кнопок "ОТКЛ.АП", "ВКЛЮЧЕН", "ВЫСОТА" и "СОВМЕЩЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ";
- Проверка передаточного числа и направления перемещения звездочки рулевой машины тангажа.

Проверка работы средств контроля:

- Проверка работы средств контроля по крену;
- Проверка работы средств контроля по тангажу;
- Проверка работы средств контроля по направлению;
- Проверка пульта проверки автопилота.

Проверка готовности автопилота к включению:

- Проверка готовности в режиме управления;
- Проверка автопилота в режиме стабилизации высоты;
- Проверка автопилота в режиме совмещенного управления;
- Проверка исправных основных цепей автопилота.

Модернизация должна позволить дополнительно проверять:

- Работоспособность канала курса и передаточные числа по курсу от сигналов ГМК;
- Работоспособность канала крена и тангажа и их передаточные числа от сигналов гировертикали.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кузнецов С. В.* Системы автоматического управления полетом: Пособие по подготовке к лабораторной работе «Изучение и исследование автопилота АП-40» – [Электронный ресурс] – URL: <http://storage.mstuca.ru/jspui/bitstream/Кузн.> (дата обращения: 15.11.2023)
2. *Окулова Л. П.* Эргономические требования к дидактическим средствам обучения в целях создания комфортной учебной среды / Л. П. Окулова // Сибирский педагогический журнал. – 2013. – № 6. – С. 70-74. – EDN RPVMOP.

**УДК 629.7.078**

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СИГНАЛИЗАТОРОВ ОБЛЕДЕНЕНИЯ

Власова О. В., Трунилина К. И.

Колычев С. А.  
(научный руководитель)

*Курсановский авиационный технический колледж – филиал МГТУ ГА  
(г. Курсанов)*

**Аннотация.** Эксплуатация авиационной техники связана с риском возникновения опасных ситуаций, одной из которых является обледенение. Для определения начала процесса обледенения используются специальные устройства – датчики обледенения. Работа сигнализаторов обледенения основана на различных принципах, а следовательно сигнализаторы обледенения могут быть разделены на разные типы. В статье рассмотрены основные типы отечественных сигнализаторов обледенения, приведен анализ функционирования и выполнен сравнительный обзор некоторых типов сигнализаторов. Сделан вывод, что выбор конкретного типа сигнализатора обледенения должен учитывать множество факторов, таких как технические характеристики, надежность, удобство обслуживания, техническая поддержка, стоимость и т.д. Решение о выборе конкретной модели сигнализатора обледенения должно быть основано на балансе этих факторов и соответствовать заданным требованиям и условиям эксплуатации конкретного типа воздушного судна.

**Ключевые слова:** обледенение, сигнализаторы обледенения, датчики льда, техническое обслуживание, безопасность полетов

Безопасность полетов ЛА в значительной степени зависит от контроля метеорологических условий полета и своевременного обнаружения начала процесса обледенения. Для этого применяются сигнализаторы обледенения (СО) и датчики наличия (толщины) льда (ДТЛ). Эти устройства играют важную роль в обеспечении

безопасности полета и должны быть разработаны с использованием передовых технологий и с учетом летно-технических требований к воздушным судам [1].

Обледенение негативно сказывается на аэродинамических характеристиках и летных качествах летательных аппаратов, что приводит к снижению максимальной скорости, потолка, дальности и продолжительности полета, а также может вызвать отказ агрегатов и приборов. Чтобы обеспечить нормальную эксплуатацию в условиях обледенения, применяются противообледенительные системы (ПОС). Они обогревают необходимые зоны самолета с помощью горячего воздуха или электрического обогрева. Информацию об обледенении самолета ПОС получает от сигнализаторов обледенения.

Используемые в настоящее время сигнализаторы обледенения по принципу действия могут быть разделены на следующие типы:

- визуальные;
- механические (вибрационные);
- пневматические;
- электротермические;
- электрокондуктивные;
- конденсаторные;
- радиоизотопные;
- электростатические;
- оптические;
- дистанционные;
- ультразвуковые.

Механические (вибрационные) сигнализаторы используются для обнаружения обледенения и основаны на движении чувствительного элемента. Этот элемент может совершать различные типы движений, такие как вращение, колебание или возвратно-поступательное движение. Одним из преимуществ механических сигнализаторов является то, что они реагируют только на реальное обледенение и не реагируют на дождь, снег, кристаллы льда, изменение скорости, высоты или наружной температуры.

Пневматические сигнализаторы, в свою очередь, основаны на сравнении двух динамических давлений или сравнении динамического и статического давлений, которые подаются на дифференциальный манометр. Датчик сравнивает динамическое давление со статическим, используя мембрану, которая разделяет область динамического давления от области статического давления. При отсутствии обледенения динамическое давление, действующее на мембрану, превышает статическое давление. Это приводит к прогибу мембраны и разрыву контакта в цепи питания реле и сигнальной лампы. В случае образования льда на мембране, динамическое давление перед мембраной уменьшается из-за закрытия отверстия ледяной пленкой. Чтобы выровнять давление в камерах, используется жиклер, а подвижный контакт на мембранной пружине соединяется с неподвижным. Активируется реле и зажигается сигнальная лампа. Когда реле срабатывает, сигнал поступает на включение нагревательного элемента, который предназначен для предотвращения образования льда. Этот тип сигнализаторов

используется для контроля обледенения крыла, оперения и воздухозаборников авиадвигателей. Основными преимуществами таких сигнализаторов являются простота конструкции, низкий вес и возможность получения сигнала об обледенении непосредственно с контактов мембранного типа без дополнительных усилителей и преобразователей. Однако у пневматических сигнализаторов есть и недостатки, такие как возможность засорения отверстий датчика, отсутствие выходных сигналов и команд для автоматического включения и выключения обогрева.

Электротермические сигнализаторы реагируют на изменение теплообмена чувствительных элементов с окружающей средой, когда летательные аппараты попадают в условия, которые способствуют образованию льда.

Достоинства этих сигнализаторов: быстрое действие, непрерывность процесса измерения интенсивности обледенения, возможность автоматического управления потребляемой мощностью.

Недостаток: возможность ложных срабатываний при наличии капель воды и кристаллов льда.

Электрокондуктивные сигнализаторы измеряют электропроводность пленки воды на датчике или изменение электропроводности пористого слоя на датчике при наличии льда. Однако, они обладают недостатком в надежности работы чувствительного элемента.

В отличие от них, конденсаторные сигнализаторы основаны на зависимости диэлектрической постоянной льда от частоты вибрации датчика. Воздух и вода имеют меньшую зависимость от частоты. С помощью таких сигнализаторов можно измерять абсолютную или относительную влажность и получать сигнал при образовании льда на датчике.

Недостатки сигнализаторов конденсаторного типа включают в себя несколько факторов. Во-первых, они имеют большие габариты из-за того, что сложно достичь необходимой емкости конденсатора при малых размерах. В результате датчик становится крупным и неудобным. Кроме того, такие сигнализаторы могут давать ложные срабатывания в случае, если на датчике появляются отложения масла, грязи или влаги. Это может привести к неправильной интерпретации данных и возникновению ложных сигналов. Наконец, сигнализаторы конденсаторного типа обладают низкой помехозащищенностью от электрических наводок, что ограничивает их эффективность и надежность.

В отличие от них, радиоизотопные сигнализаторы основаны на эффекте поглощения слоем льда  $\beta$ -излучения радиоактивного источника. Это позволяет достичь более точных результатов и минимизировать возможность ложных срабатываний.

Радиоизотопный сигнализатор обледенения имеет чувствительность  $0,3 \pm 0,1$  мм льда, обеспечивает сигнализацию начала и окончания обледенения, непрерывную сигнализацию при полете в зоне обледенения.

При достижении на датчике толщины льда 0,3 мм включается исполнительное реле, управляющее работой блока задержки, в котором предусмотрено два реле времени. Одно – увеличивает время нагрева штыря,

обеспечивая, полное сбрасывание льда, а второе – время подачи сигнала «Обледенение» и продление времени работы автоматически включенной ПОС.

Очень существенный недостаток указанных сигнализаторов – неудобства, связанные с использованием радиоактивных материалов.

Электростатические сигнализаторы регистрируют изменение электростатического поля при образовании льда на датчике.

Оптические сигнализаторы определяют изменение интенсивности прямого и отраженного луча при наличии льда на датчике, а с помощью фотоэлемента и усилителя данная информация преобразуется в сигнал об обледенении. Дистанционные сигнализаторы основаны на отражении луча локатора от облаков и оценке мощности отраженного сигнала, которая изменяется при наличии в воздухе капель воды или кристаллов льда.

Ультразвуковые сигнализаторы работают на основе изменения амплитуды и фазы отраженного эхо-сигнала, когда на датчике обнаруживается наличие льда.

Существующие в настоящее время сигнализаторы обледенения условно можно разделить на две основные группы: косвенного и прямого действия.

Сигнализаторы первой группы реагируют на наличие в атмосфере капель воды. Принцип их действия основан на преобразовании физических параметров в электрические сигналы. Они имеют высокую чувствительность. Чтобы исключить их ложные срабатывания при положительной температуре, требуется обязательное измерение температуры атмосферного воздуха (чтобы отличить обычные капли от переохлажденных, обуславливающих обледенение).

Сигнализаторы второй группы реагируют непосредственно на образование на датчике слоя льда. На чувствительность сигнализаторов данной группы в значительной степени влияют размеры и форма датчиков, а также место установки датчика на ЛА. Чувствительность сигнализаторов тем выше, чем меньше диаметр датчика (если он цилиндрический) или остроконечнее его лобовая часть (если он профильный).

Основной недостаток сигнализаторов прямого действия заключается в том, что они выдают сигнал только спустя некоторое время после начала обледенения и, кроме того, многие из них не реагируют на «рогообразные» формы льда.

В общем виде сигнализаторы обледенения включают в себя: датчик, преобразователь сигнала и визуальный указатель (сигнальная лампочка, табло, прибор на пульте летчика) или звуковой элемент.

Рассмотрим основные типы сигнализаторов обледенения, находящиеся в эксплуатации.

## **АВТОМАТ УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ ПОС КВАНТ-2М (рис. 1).**

Функционально автомат управления состоит из:

- канала сигнализации об обледенении;
- канала измерения температуры;
- канала управления ПОС.

Канал сигнализации об обледенении предназначен для:

– своевременного обнаружения условий обледенения с выдачей сигнала «ОБЛЕДЕНЕНИЕ» в течение всего времени нахождения в условиях обледенения;

– формирование признака «конец зоны обледенения» при выходе из условий обледенения.

Принцип работы канала сигнализации об обледенении автомата управления основан на изменении резонансной частоты вибратора в зависимости от присоединенной массы (толщины) льда.

Канал измерения температуры обеспечивает измерение температуры наружного воздуха в диапазоне от минус 55 до плюс 70 градусов.

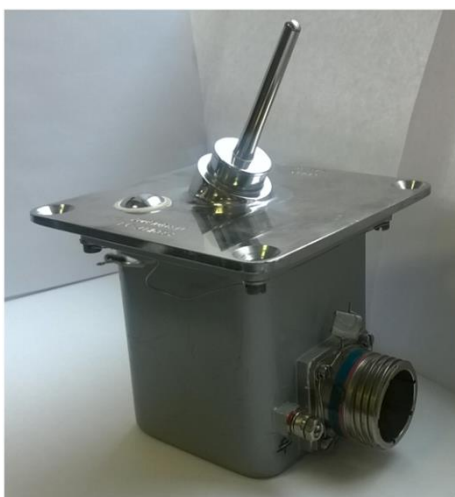


Рисунок 1 – Аппарат управления КВАНТ-2М

### **Работа**

Автомат управления работает в следующих режимах:

- 1) рабочий режим;
- 2) режим ручного управления ПОС;
- 3) режим встроенного контроля.

### **СИГНАЛИЗАТОР ОБЛЕДЕНЕНИЯ СО-1А (рис. 2)**

Функциональное назначение сигнализатора состоит в обеспечении [2]:

- обнаружения обледенения на контролируемой поверхности и сигнализации об обледенении;
- измерения толщины льда;
- измерения интенсивности обледенения;
- измерения температуры окружающей среды;
- контроля собственной работоспособности.

Принцип работы сигнализатора основан на изменении частоты резонанса чувствительного элемента от массы (толщины) осажденного льда при обледенении.





Рисунок 2 – Сигнализатор обледенения СО-1А

## СРАВНЕНИЕ СО-А1 И КВАНТ-2М

### Работа СО-А1:

Сигнализатор запитывается внешним питанием «+27В», при этом он входит в режим встроенного тест-контроля (время данного режима не более 1 с), по завершению которого начинает циклическую выдачу массива информации с частотой 40 Гц. При отрицательном результате тест-контроля формируется признак «Отказ».

При положительном результате тест-контроля СО-1А входит в режим поиска резонанса. Время данного режима (3 – 9) с. При отрицательном результате поиска резонанса формируется «Отказ». При положительном результате поиска резонанса СО-1А входит в основной режим работы, при этом формируется признак «Готовность», затем анализируются параметры резонанса, температура, а также записанные ранее в энергонезависимое ПЗУ признаки «Обледенение» и «Сброс льда». Общее время готовности (4 – 11) с. В условиях обледенения на чувствительном элементе сигнализатора нарастает лед. При достижении толщины льда 0,5 мм формируется признак «Обледенение», который снимается спустя 140 секунд после прекращения падения частоты резонанса, т.е. при выходе объекта из условий обледенения, после чего включается сброс оставшегося льда с поверхности основания и вибратора.

При достижении толщины льда не менее 3 мм или при падении амплитуды резонанса ниже допустимой происходит принудительный сброс льда с чувствительного элемента, который контролируется по восстановлению частоты резонанса и ограничивается по времени не более 15 с. Сброс льда осуществляется путем обогрева основания и вибратора чувствительного элемента сигнализатора. При этом температура окружающей среды и интенсивность обледенения «замораживается» на 40 с. Процесс повторяется циклически, при этом толщина льда на чувствительном элементе, интенсивность обледенения, температура выдаются по интерфейсу RS-422 на объект.

Время готовности, с, не более 20

Время непрерывной работы, ч не менее 4

Масса, кг 0,85

Работа КВАНТ-2М (рабочий режим):

После подачи питающих напряжений в течение не более 15 с автомат управления находится в режиме начального тест-контроля, в котором контролируются исправность каналов сигнализации об обледенении, измерения температуры, управления ПОС, инициализируется количество секций ПОС НВ, читается предыстория из ПЗУ. По успешному завершению начального тест-контроля формируется признак «Исправность», что говорит о том, что автомат управления готов к работе. При попадании в условия обледенения на вибраторе автомата управления осаждается лед, что приводит к уменьшению резонансной частоты. По достижении порогового значения частоты резонанса, эквивалентной толщине льда 1 мм, выдается сигнал «ОБЛЕДЕНЕНИЕ», а в случае наличия внешней команды «ВКЛ КУ» выдаются сигнал «ВКЛ ПОС ВИНТОВ» и команды «ПОС НВ», «ПОС РВ1», «ПОС РВ2» по циклограмме, зависящей от температуры окружающей среды и количества секций ПОС НВ. По накоплению толщины льда на вибраторе более 3 мм производится сброс льда с поверхностей основания и вибратора в течение не более 15 сек. После выхода из условий обледенения производится доработка начатого цикла команд управления ПОС и формирование двух дополнительных. После снятия сигнала «ОБЛЕДЕНЕНИЕ» производится сброс оставшегося льда с поверхности основания и вибратора.

Время готовности, с, не более 15

Время непрерывной работы, ч 8

Масса, кг, не более 0,95

Принцип работы у КВАНТ-2М и СО-А1 одинаковый, он основан на изменении частоты резонанса чувствительного элемента от массы (толщины) осажденного льда при обледенении.

В отличие от СО-А1, КВАНТ-4М имеет три режима работы, это рабочий режим, режим ручного управления ПОС и режим встроенного контроля.

Более быстрым по времени готовности и более устойчивым по продолжительности работы является КВАНТ-2М.

Основным преимуществом СО-1А является его незначительная масса.

### **СИГНАЛИЗАТОР ЗАДАННОЙ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА СТЛ-1**

Сигнализатор предназначен [4] для автоматического управления циклически электроимпульсной противообледенительной системы в зависимости от заданной толщины льда на незащищенных от обледенения поверхностях объекта и для выдачи сигналов о степени обледенения в бортовую аппаратуру регистрации и индикации.

Принцип действия сигнализатора основан на зависимости частоты выходного сигнала датчика от массы льда на его чувствительном элементе – вибраторе. Возбуждение колебаний вибратора датчика на его резонансной частоте с высокой точностью производится с помощью блока фазовой автоподстройки частоты, который входит в состав преобразователя. При оседании на вибратор датчика массы льда, соответствующей трем условным единицам толщины льда, резонансная частота колебаний вибратора уменьшается

до величины, при которой преобразователь формирует сигналы на включение обогрева датчика для сброса льда.

В счетчик числа циклов обогрева датчика и в индикатор записывается один тактовый импульс. В бортовую аппаратуру регистрации формируются команды «Лед в КИСС» и «Лед в БАР».

После сброса льда с датчика частота колебаний вибратора восстанавливается, обогрев выключается, и снимаются выходные команды.

В случае повторного нарастания льда на вибраторе датчика процесс повторяется.

При достижении заданного числа циклов образования льда на вибраторе датчика, т.е. при достижении заданной толщины льда на контролируемой поверхности объекта, преобразователь формирует сигнал на включение ЭИ ПОС объекта.

Толщина льда на поверхности объекта, при которой формируется команда «ЭИ ПОС», устанавливается переключателем ТОЛЩИНА ЛЬДА на передней панели преобразователя.

Включение сигнализатора производится при подаче питающих напряжений и сигналов по входам «Облед. с СО-1», «Облед. с СО-2» или «Проверка» в виде постоянного напряжения 27 В. Указанные входы потребляют ток не более 0,5 А.

Сигнализатор снабжен системой автоматического контроля исправности входящих в него блоков. Режим автоконтроля обеспечивается при включении сигнализатора, при нажатии кнопки КОНТРОЛЬ (TEST) на передней панели индикатора, а также при формировании выходных команд «Лед в КИСС», «Лед в БАР» во время работы в зоне обледенения.

### **СИГНАЛИЗАТОР ОБЛЕДЕНЕНИЯ СО-121М (СО-121ВМ)**

Сигнализатор СО-121М предназначен [3] для выдачи команд "Обледенение", "ПОС", "БАР" "РИ" об обледенении изделий объекта, а сигнализатор СО-121ВМ предназначен для выдачи команд "Обледенение", "ПОС", "БАР", "РИ" об обледенении планера объекта по цепям:

"Сигнал "Обледенение" – на устройство сигнализации экипажу;

"Сигнал "ПОС" – на включение и выключение ПОС;

"Сигнал "БАР" – в бортовую аппаратуру регистрации параметров;

"Сигнал "РИ" – в речевой информатор.

Сигнализатор СО-121М (СО-121ВМ) – вариант комплектации "а" представляет собой одноканальную систему, состоящую из датчика, преобразователя и монтажной рамы РМ-5.

Принцип действия сигнализаторов основан на изменении частоты выходного сигнала датчика от толщины пленки льда на его чувствительном элементе-мембране. При включении питания сигнализатора мембрана датчика начинает совершать колебания, частота которых определяется ее жесткостью.

Возбуждение колебаний мембраны производится с помощью усилителя переменного тока, который находится в преобразователе, и электромагнитной системы возбуждения, расположенной в датчике.

При оседании льда на мембране ее жесткость повышается, что приводит к

увеличению частоты колебаний. При толщине льда, определяемой чувствительностью сигнализатора, частота колебаний достигает такой величины, при которой срабатывает частотный дискриминатор.

Сигнал об обледенении с дискриминатора поступает в блок выходных команд, который формирует команды "Обледенение", "ПОС", "БАР", "РИ" в виде напряжения постоянного тока 27 В и команды на включение обогрева головки вибратора датчика и кронштейна датчиков ДСЛ-40Т, ДСЛ-40ТВ (для сброса льда), а также для выдачи соответствующих сигналов на загорание индикаторов ОБОГРЕВ и ОБЛЕДЕНЕНИЕ на передней панели преобразователя.

Для надежного сброса льда с головки вибратора и формирования непрерывного сигнала об обледенении при прохождении воздушным судном всей зоны обледенения, команда на выключение обогрева головки вибратора имеет задержку на время  $(8 \pm 2)$  с, а выходные команды "Обледенение", "ПОС", "БАР", "РИ" и команда на выключение обогрева кронштейна датчиков ДСЛ-40Т, ДСЛ-40ТВ имеют задержку  $(140 \pm 40)$  с с момента снятия сигнала об обледенении с дискриминатора.

Временные задержки на выключение выходных команд формируются блоком временных интервалов по сигналу об обледенении с дискриминатора.

При повторном нарастании льда на мембране (воздушное судно продолжает находиться в зоне обледенения) задержка выходных команд на  $(140 \pm 40)$  с и команда на выключение обогрева кронштейна датчиков ДСЛ-40Т, ДСЛ-40ТВ сбрасываются и процесс повторяется.

Блок контроля предназначен для контроля исправности сигнализатора и выдачи сигнала "Исправен" в виде напряжения постоянного тока 27 В через время  $(41 \pm 11)$  с после отпускания кнопки ИМИТАЦИЯ, расположенной на передней панели преобразователя (при исправном сигнализаторе), и снятия сигнала через время  $(77 \pm 22)$  с после отпускания кнопки.

Блок контроля осуществляет также ограничение задержки выходных команд "Обледенение", "ПОС", "БАР", "РИ" и команду на обогрев кронштейна датчиков ДСЛ-40Т, ДСЛ-40ТВ до  $(8 \pm 2)$  с при контроле исправности сигнализатора, что необходимо для предотвращения выхода датчиков из строя при контроле исправности сигнализатора на земле. Ограничение задержки выходных команд производится только при подключенной нагрузке обогрева кронштейна датчиков ДСЛ-40Т, ДСЛ-40ТВ.

Таким образом, сигнализатор СО-121ВМ имеет ограничение задержки выходных команд, а сигнализатор СО-121М ее не имеет (так как кронштейн датчика ДСЛ-39МТ обогревается горячим воздухом с самолета).

Так как блок контроля осуществляет контроль исправности цепи обогрева кронштейна датчиков ДСЛ-40Т и ДСЛ-40ТВ (обмотки обогрева кронштейна) при применении на воздушном судне сигнала "Исправен" (для сигнализатора СО-121М) в цепь обогрева кронштейна датчиков ДСЛ-40Т и ДСЛ-40ТВ необходимо ввести дополнительную нагрузку. Величина и тип нагрузки определяется при согласовании применения сигнализатора СО-121М на самолете.

Блок питания предназначен для преобразования напряжения постоянного тока 27 В в напряжение постоянного тока 5 и 12,6 В, необходимое для питания

электронной схемы сигнализатора.

Для обеспечения выдачи выходной команды "Обледенение" при аварийном питании воздушного судна питание сигнализатора напряжением постоянного тока 27 В осуществляется по двум цепям:

в сигнализаторе СО-121М – по цепям "27 В, 13 А" и "27 В, 3 А", а в сигнализаторе СО-121ВМ – по цепям "27 В, 20 А" и "27 В, 3 А".

По цепи сигнализаторов "27 В, 3А" осуществляется питание электронной схемы и коммутация команд "Обледенение", "БАР", "РИ"; а по цепям "27 В, 13 А" и "27 В, 20 А" осуществляется питание цепей обогрева головки вибратора датчика и кронштейна датчиков ДСЛ-40Т, ДСЛ-40ТВ и коммутация выходной команды "ПОС".

После проведения сравнительного анализа сигнализаторов обледенения можно сделать следующие выводы:

Во-первых, важно отметить, что каждый из рассмотренных сигнализаторов обладает своими уникальными особенностями. Некоторые из них имеют более продвинутую технологию, другие обладают повышенной точностью определения момента образования льда, третьи предпочтительнее с точки зрения массы и стоимости.

Во-вторых, важно обратить внимание на надежность, особенно на долговечность сигнализаторов, ведь они работают в экстремальных погодных условиях и, следовательно, должны сохранять свою функциональность в течение длительного времени.

В-третьих, стоит учитывать наличие гарантийных обязательств и возможности технической поддержки со стороны производителя.

В-четвертых, важно принять во внимание удобство обслуживания сигнализаторов обледенения, наличие дополнительных функций и возможность интеграции с другими бортовыми системами.

В целом, при выборе сигнализатора обледенения необходимо учитывать множество факторов, таких как технические характеристики, надежность, удобство обслуживания, техническая поддержка, стоимость и т.д.

Решение о выборе конкретной модели сигнализатора обледенения должно быть основано на балансе этих факторов и соответствовать заданным требованиям и условиям эксплуатации конкретного типа воздушного судна.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Вавилов В. Д.* Обзор отечественных и зарубежных сигнализаторов обледенения / В. Д. Вавилов, А. Н. Сукокин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 4(101). – С. 297-310. – EDN SEZXGN.
2. Руководство по технической эксплуатации ИВКШ.433649.006 РЭ СИГНАЛИЗАТОР ОБЛЕДЕНЕНИЯ СО-1А.
3. Руководство по технической эксплуатации 4Е2.409.005 РЭ СИГНАЛИЗАТОР ОБЛЕДЕНЕНИЯ СО-121М (СО-121ВМ).
4. Руководство по технической эксплуатации Е2.849.000 РЭ СИГНАЛИЗАТОР ЗАДАННОЙ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА СТЛ-1.

## МЕТОДИКА И АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОГРАММ ПОИСКА ОТКАЗОВ В БОРТОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Данчинова М. В., Воробьева В. М.

Устинов В. В.  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** Целью работы является оптимизация процессов поиска отказов в бортовых технических системах и приобретение практических навыков по поиску на программных моделях.

В рамках работы проводилась разработка наиболее эффективных алгоритмов поиска отказов на основе метода ведущей функции и информационного метода. Приведены конкретные примеры решения задач оптимизации. Разработано программное обеспечение, позволяющее автоматизировать процесс построения оптимальных алгоритмов поиска отказов.

Проведен сравнительный анализ методик построения алгоритмов и предложены решения для каждой конкретной задачи.

Разработанные в рамках работы методики и алгоритмы поиска неисправностей позволяют значительно уменьшить время на восстановление работоспособности системы, что особенно важно, когда время на обслуживание воздушного судна ограничено.

**Ключевые слова:** оптимизация, диагностирование, диагностический тест, отказы, алгоритмы диагностирования.

### **1. Обоснование актуальности темы при проектировании бортовых технических систем**

При разработке технических систем с применением схем самоконтроля для диагностирования их состояний обычно устанавливаются датчики контроля отдельных блоков или элементов схемы [1]. Однако не всегда предусматривается их оптимальное количество. Для этапа испытаний это конечно актуально и значимо. Однако для установки на серийные образцы авиационной техники установка избыточного количества датчиков информации приводит к увеличению массогабаритных характеристик, стоимости и надежности систем диагностирования.

Рассмотрим пример узла схемы гидросистемы для оптимизации количества установленных датчиков, пример которой показан на рисунке 1 [2, 3].



Рисунок 1 – Пример контура схемы гидросистемы

Данный контур может быть охарактеризован состояниями:

$s_1$  – исправное состояние ( $D_1 \leq T_{\max \text{ доп.}}$ ,  $P_1 \geq P_{\min \text{ доп.}}$  и  $D_2 \leq T_{\max \text{ доп.}}$ );

$s_2$  – признак отказа клапана ( $P_1 < P_{\min \text{ доп.}}$ );

$s_3$  – признак превышения температуры ( $D_1 > T_{\max \text{ доп.}}$  и  $D_2 > T_{\max \text{ доп.}}$ ),

где:  $T_{\max \text{ доп.}}$  – максимально допустимая температура гидросмеси;

$P_{\min \text{ доп.}}$  – минимально допустимое давление в гидросистеме.

Анализ работы схемы показывает, что для диагностирования (контроля работоспособности) можно использовать только датчик  $D_1$  с признаками состояний:

$s_1$  – исправное состояние (признаки  $T_{\text{норм. экспл.}} \leq D_2 \leq T_{\max \text{ доп.}}$ );

$s_2$  – отказ отсечного клапана (признаки  $D_2 \leq T_{\text{норм. экспл.}}$ ).

Замена признака  $P_{\min \text{ доп.}}$  на признак  $T_{\text{норм. экспл.}}$  здесь возможна потому, что при отказе отсечного клапана по системе перестаёт протекать горячая гидросмесь, и температура в гидросистеме падает ниже эксплуатационной.

$s_3$  – превышение температуры (признак  $D_2 > T_{\max \text{ доп.}}$ ).

Как видим на данном примере, сокращение избыточности датчиков с выбором наиболее информационных из них сокращает стоимость серийной АТ, повышает её надёжность, потому как точки присоединения датчиков к любой системе повышают риск отказов подобных соединений.

Решению задачи оптимизации алгоритмов поиска отказов в бортовых технических системах и оптимизации устанавливаемых датчиков контроля работоспособности и посвящена данная работа.

## 2. Существующие методики построения оптимальных алгоритмов поиска отказов

Существуют различные методы минимизации таблиц состояния признаков: аналитический метод, метод ведущей функции [1], энтропийный метод, метод динамического программирования и др. Из них наиболее простым и удобным для ручной и программной реализации является метод ведущей функции, основанный на расчете максимального количества информации, несущей каждой проверкой.

При использовании данной методики по принципиальной электрической схеме строится ее функциональная и функционально-логическая модели, которые подробно описаны в работах [4]. Пример функционально-логической модели системы обогрева стекол кабины экипажа представлен на рисунке 2.

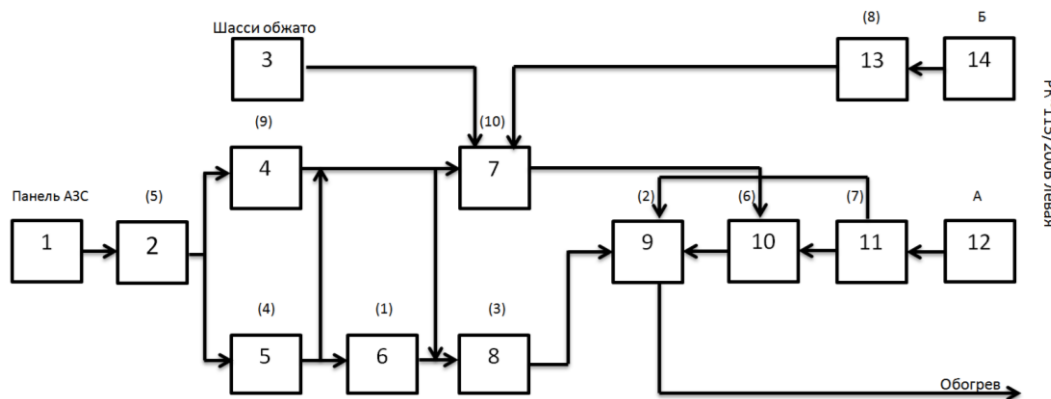


Рисунок 2 – Функционально-логическая модель системы обогрева стекол кабины экипажа

Далее путем последовательного преобразования таблицы истинности и выявления наиболее информативных проверок определяется их последовательность до определения отказов каждого блока системы и строится оптимальный алгоритм поиска в виде «дерева поиска», пример которого для данной схемы имеет вид, показанный на рисунке 3 [4].

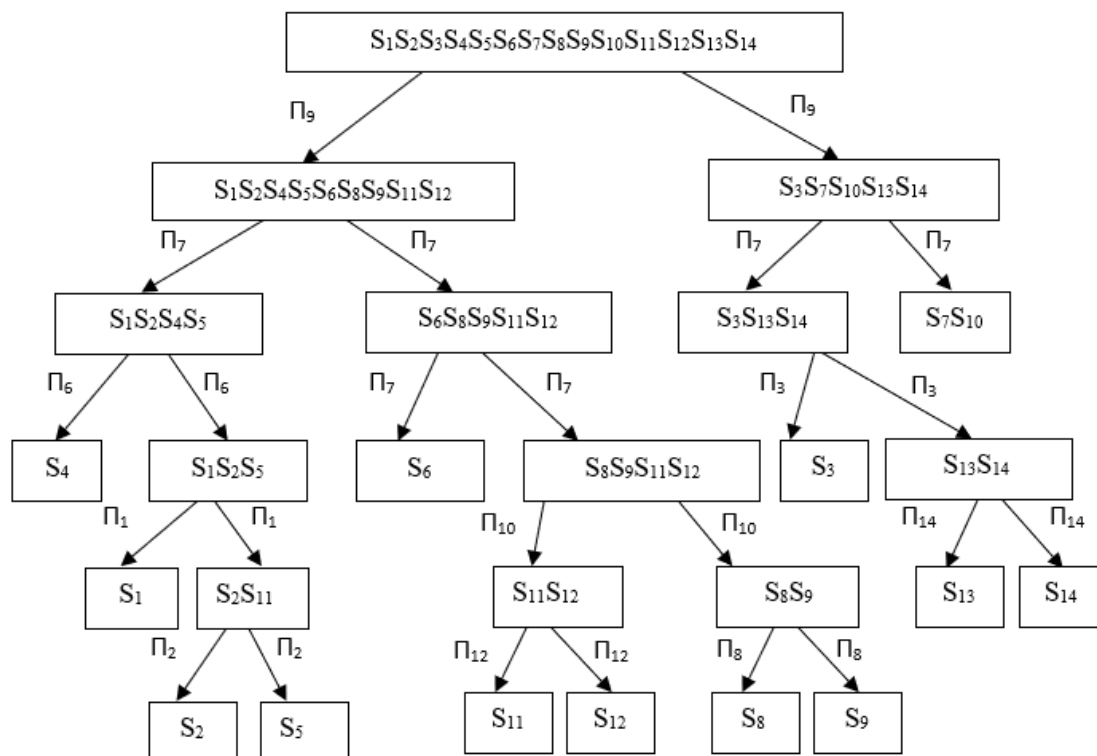


Рисунок 3 – «Дерево поиска отказов» для системы обогрева



Для составления алгоритма поиска отказов, близкого к оптимальному, также используются методы теории информации [4, 5].

Именно эта теория первоначально и легла в основу построения оптимальных алгоритмов поиска отказов и, в частности, в бортовых технических системах ВС. Теория информации позволяет применить в сложной технической системе метод половинного информационного разбиения всей схемы с выделением конкретных узлов или блоков, которые как бы делят всю схему пополам и, следовательно, при использовании этого метода можно однозначно определить последовательность проведения проверок, а именно назначать в качестве начальных самые информативные проверки и не использовать метод последовательных проверок (метод «тыка»). Конечным результатом будет однозначно значительное сокращение количества операций при проверках и времени на поиск отказа.

Среднее количество информации, приходящееся на одно событие, будет равно

$$I = H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

Простейший пример для одной из систем [ ] и построение таблицы истинности и методики расчета количества информации, несущей двумя проверками, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – «Признаки-состояния» для последовательности двух проверок

	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>	S <sub>11</sub>	S <sub>12</sub>	S <sub>13</sub>	S <sub>14</sub>	S <sub>15</sub>	S <sub>16</sub>	I
П <sub>9,6</sub>	11	10	10	00	00	11	10	10	10	00	10	00	00	00	00	11	1,49
П <sub>9,10</sub>	10	10	11	00	00	10	11	10	10	01	10	00	00	00	00	10	1,66
П <sub>9,11</sub>	10	11	11	00	00	10	10	11	10	00	11	00	00	00	00	10	1,54
П <sub>9,12</sub>	10	10	11	00	00	10	11	11	10	01	11	01	00	00	00	10	1,91
П <sub>9,13</sub>	11	10	11	00	00	11	11	10	11	00	10	00	01	00	00	11	1,75
П <sub>9,15</sub>	10	10	10	00	00	10	10	10	10	00	10	00	00	01	01	10	1,36
П <sub>9,16</sub>	11	10	11	00	00	11	11	10	11	00	10	00	01	00	00	11	1,75

Для пары проверок П<sub>9</sub>, П<sub>12</sub>: комбинаций 10 – 5 штук, комбинаций 11 – 4, комбинаций 00 – 5 штук, комбинаций 01 – 2 штуки.

$$P_{9,12} = \frac{5}{16}, P_2 = \frac{4}{16}, P_3 = \frac{5}{16}, P_4 = \frac{2}{16}$$

Количество информации, несущей каждой парой проверок, определяется по формулам:

$$I_{П9,6} = \frac{3}{16} \log_2 \frac{3}{16} + \frac{5}{16} \log_2 \frac{5}{16} + \frac{7}{16} \log_2 \frac{7}{16} = 0,45 + 0,52 + 0,52 = 1,49$$

В настоящее время авторами разработана программа для реализации построения оптимальных алгоритмов поиска отказов в технических системах. Преимущество использования программы контроля становится более ощутимым с возрастанием числа контролируемых устройств и качества контрольных операций.

В разработанной программе предусмотрено более 30 объектов контроля. Количество возможных отказов и их состояний может быть не ограничено. Достоинством программы является то, что ее можно использовать в двух режимах [4, 5]:

- автоматический, когда программа считает до распознавания всех состояний или всех отказов, но без учета важности и трудозатрат на проверку;
- ручной, когда можно менять последовательность проверок с учетом надежности элемента или вероятности его отказа, труднодоступности установки датчика, стоимости работ.

Пример ввода исходных данных в виде таблицы признаки-состояния (таблица истинности) показан на рисунке 4, на рисунке 5 приведен пример работы программы в автоматическом режиме, а на рисунке 6 показаны 10 шагов работы программы в ручном режиме.

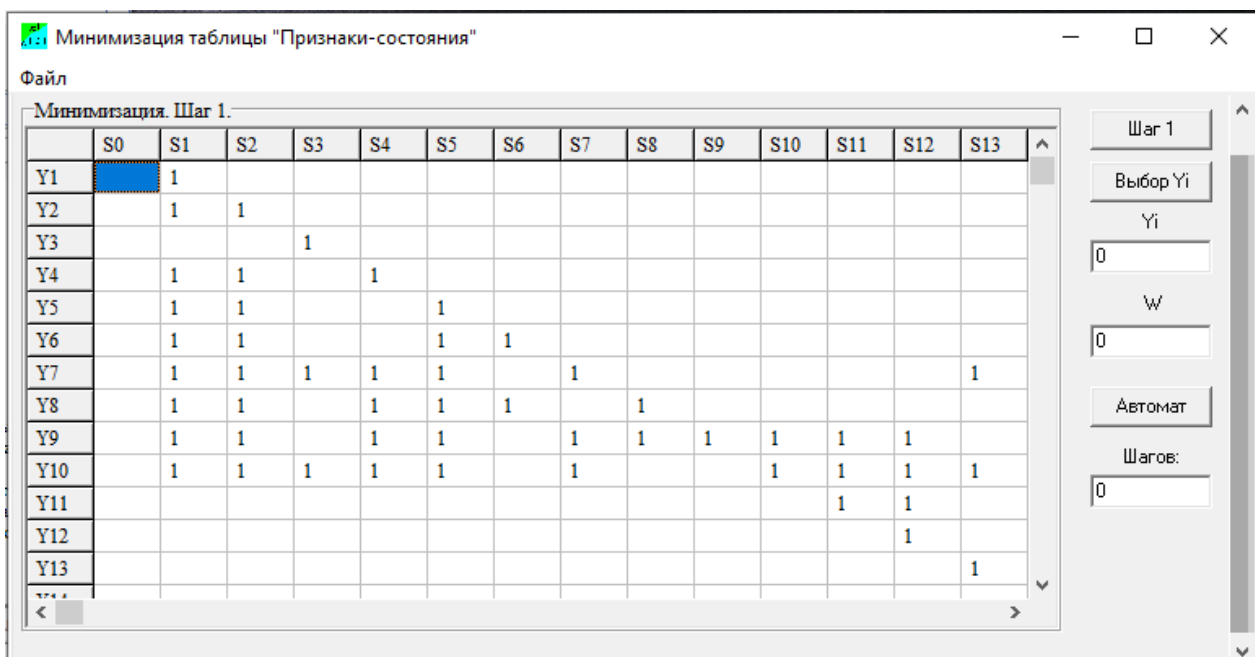


Рисунок 4 – Пример введения исходных данных

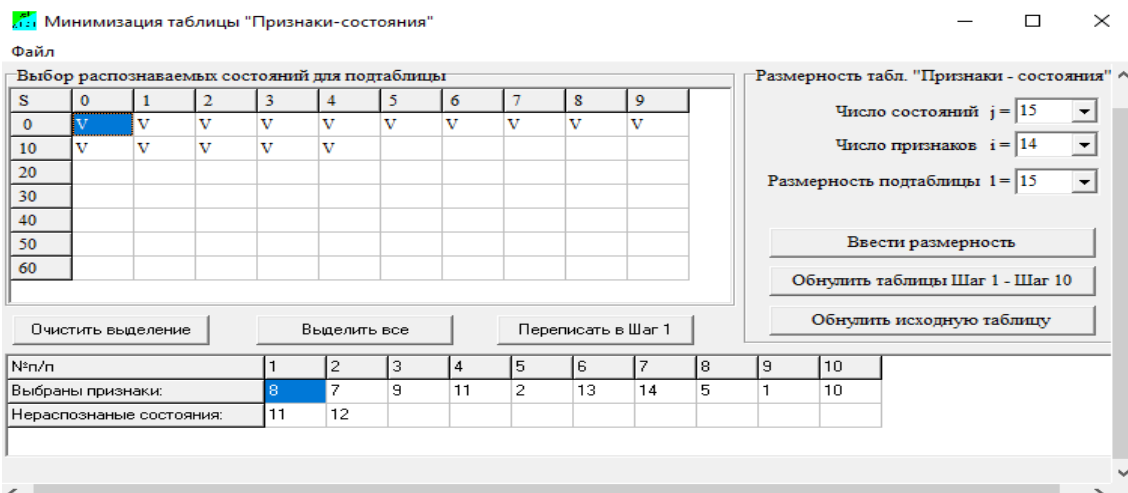


Рисунок 5 – Пример работы программы в автоматическом режиме

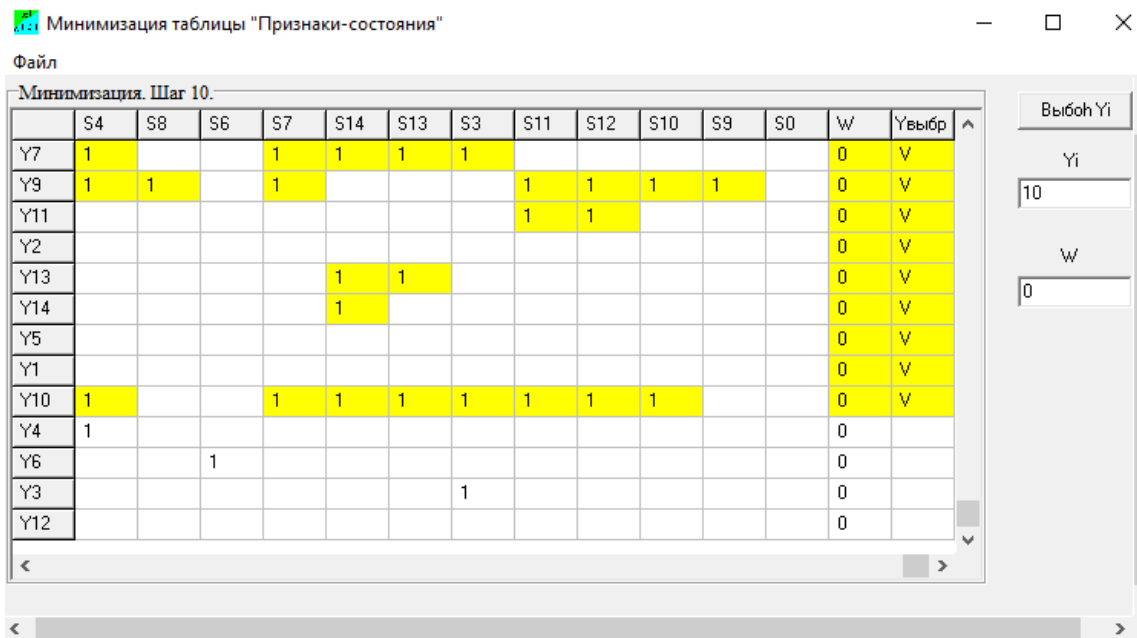


Рисунок 6 – Пример работы программы в ручном режиме

### 3. Сравнительный анализ методов и алгоритмов оптимизации

Анализ результатов, полученных при разработке оптимального алгоритма поиска отказов, позволяет с полной уверенностью утверждать, что в общем методы оптимизации поиска отказов в технических системах бортового оборудования информационным путем и по принципу применения ведущей функции сходятся [5].

Однако последовательность проверок не совпадает, так как информационным методом решается задача оптимизации проверок в целом системы, и не предусматривает оптимизацию последовательности проведения проверок по ветвям «дерева» поиска отказов. Кроме того, используя информационный метод, достаточно сложно разбить проверки технических систем по ветвям проверок и, следовательно, построить оптимальный алгоритм поиска. Результаты вычисления показали, что для поиска отказов в системе

запуска вспомогательной силовой установке АИ-9В информационным методом потребуются не менее 7-8 проверок, а методом ведущей функции – не более пяти.

Решение задачи оптимизации алгоритма поиска отказов программным методом было проведено в автоматическом режиме работы программы и в ручном режиме, позволяющем менять последовательность проверок по рекомендациям пользователя с учетом контролепригодности, отказоустойчивости и доступности для контроля.

Результаты позволяют сделать вывод о том, что наиболее простым и оптимальным является метод ведущей функции, который предусматривает возможности проведения диагностирования технических систем и позволяет просто и достоверно построить «дерево» поиска отказов, которое является оптимальным алгоритмом.

Кроме того, измененный метод применения ведущей функции по отдельным ветвям позволяет свести алгоритм поиска отказов и сократить количество проверок в заданной последовательности, т.е. усовершенствовать предложенные ранее решения.

Применение программы для автоматизации процесса разработки оптимальных алгоритмов поиска отказов в технических системах бортового оборудования позволяет сделать вывод о том, что программа позволяет значительно сократить время на разработку оптимального алгоритма и решает задачи:

1. В автоматическом режиме построить общий оптимальный алгоритм поиска отказов для полной системы без учета оптимизации последовательности проверок по первым ветвям «дерева» поиска.

2. Проводить автоматический процесс поиска отказов с учетом последовательности проверок, но вычисление ведущей функции проводится по информативности проверки всей системы, но не отдельной ветви.

Предлагается использование программного комплекса для построения оптимальных программ поиска отказов в технических системах бортового оборудования для сложных и насыщенных элементами систем, а для участков цепей – метод ведущей функции. Программный комплекс может также быть применен для построения оптимальных алгоритмов поиска отказов в случае введения в качестве исходных данных таблицы «признаки-состояния» по отдельным ветвям предыдущих проверок, где совместим принцип поиска путем выбора проверок, несущих максимальное количество информации с принципом деления количества проверок цепи пополам.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Константинов В. Д.* Методы и средства контроля технического состояния авиационной техники. Учебное пособие. – М.: МИИГА, 1993.

2. *Устинов В. В.* Методика оптимизации количества и мест установки датчиков контроля состояния технических систем на этапе испытаний. Тезисы докладов студенческой научно-технической конференции, посвященной 90-летию гражданской авиации. М.: МГТУ ГА, 2013.

3. Чобанян Л. Г. Методика и алгоритмы построения оптимальных программ диагностики технических систем / В. В. Кашковский, Л. Г. Чобанян, В. В. Устинов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск, ИРГУПС, 2022.

4. Данчинова М. В. Методики оптимизации алгоритмов диагностирования бортовых технических систем / М. В. Данчинова, Л. Г. Чобанян // Сборник НПК студентов и аспирантов «Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации – 2022» – Иркутск, Иркутский филиал МГТУ ГА, 2022. – 283 с.

5. Устинов В. В. Анализ существующих методик диагностирования для построения оптимальных программ поиска отказов в бортовых системах авиационного оборудования // Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации – 2017. Сборник трудов X межвузовской научно-практической конференции студентов и аспирантов (5-7 декабря 2017 г): в 2-х т. – Иркутск: Иркутский филиал МГТУ ГА, 2017. – Т. I – 293 с.

**УДК 623.746.5**

## **АЛГОРИТМ РАБОТЫ ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА В ГЕРМЕТИЧЕСКОЙ КАБИНЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА**

Каргин А. В.

Акулов О. Ю., канд. пед. наук  
(научный руководитель)

*ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского  
и Ю.А. Гагарина»  
(г. Воронеж)*

**Аннотация.** Предложено использовать алгоритм с бесконечным циклом измерения, передачи и обработки значения давления, а также с условием, определяющим работу системы автоматического регулирования давления и других элементов системы жизнеобеспечения экипажа.

**Ключевые слова:** дистанционный измеритель давления воздуха, высотомер УВИД, система автоматического регулирования давления, радиомодуль ZigBee.

В настоящее время остро стоит вопрос о модернизации уже устаревших систем воздушных судов, уменьшении их стоимости и массогабаритных качеств. Одной из таких систем является система жизнеобеспечения, а в особенности система измерения давления воздуха в герметической кабине самолета. Заменяя старые датчики аналогового типа с проводным соединением на дистанционные с радиопередатчиками, мы уменьшим массу и стоимость, а также получим еще много других преимуществ. В связи с этим одним из вопросов решения данной задачи стоит составление алгоритма работы дистанционных измерителей давления.

Алгоритм работы начинается с цикла бесконечности, то есть процесс измерения будет повторяться бесконечно. Далее координатор (радиомодуль ZigBee) [1] посылает сигнальный кадр, инициирующий начало работы датчика. Датчик измеряет текущее давление и пересылает это значение обратно на

радиомодуль (блок приема, обработки и индикации информации).

Блок приема, обработки и индикации информации получает сигнал с датчика и обрабатывает его. Если полученное значение не выходит за рамки допустимого на текущей высоте полета, то сигнал подается на индикатор, и тот, в свою очередь, выводит текущее измеренное значение давления в салоне. В случае, если значение давления выходит за рамки допустимого на текущей высоте полета, то сигнал подается на звуковой сигнализатор, и затем на индикатор с сообщением об опасном превышении (понижении) давления. Значение текущей высоты подается на вход АЦП микроконтроллера в виде сигнала, снимаемого с электромеханического барометрического высотомера УВИД-15-Ф [2]. Об этом более подробно будет написано ниже. После этого экипажу будет предоставлено ручное измерение давления, то есть кнопка выключения звукового сигнала и последующее повторение цикла работы измерителя давления.

Сам алгоритм работы дистанционного измерителя давления в салоне самолета будет иметь следующий вид, показанный на рисунке 1.

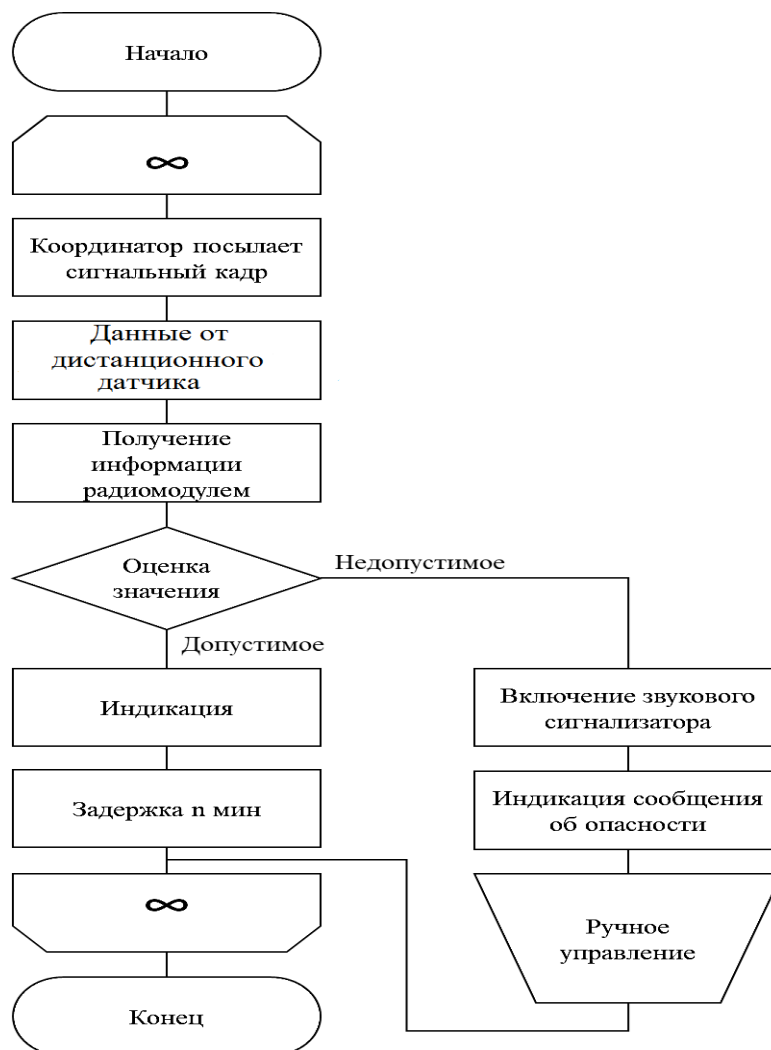


Рисунок 1 – Алгоритм работы дистанционного измерителя давления на борту самолета

Рассмотрим принцип работы оценки значения текущего давления. Для корректной работы дистанционного измерителя в режиме сигнализатора давления, на микроконтроллер нужно подавать информацию о текущей высоте полета, для этого на вход встроенного АЦП будет подаваться аналоговый сигнал с электромеханического барометрического высотомера УВИД-15-Ф, который штатно установлен на борту самолета.

Принцип действия этого высотомера основан на измерении статического давления с помощью блока анероидных коробок с последующим преобразованием в электрическое напряжение. Кинематическая схема высотомера представлена на рисунке ниже.

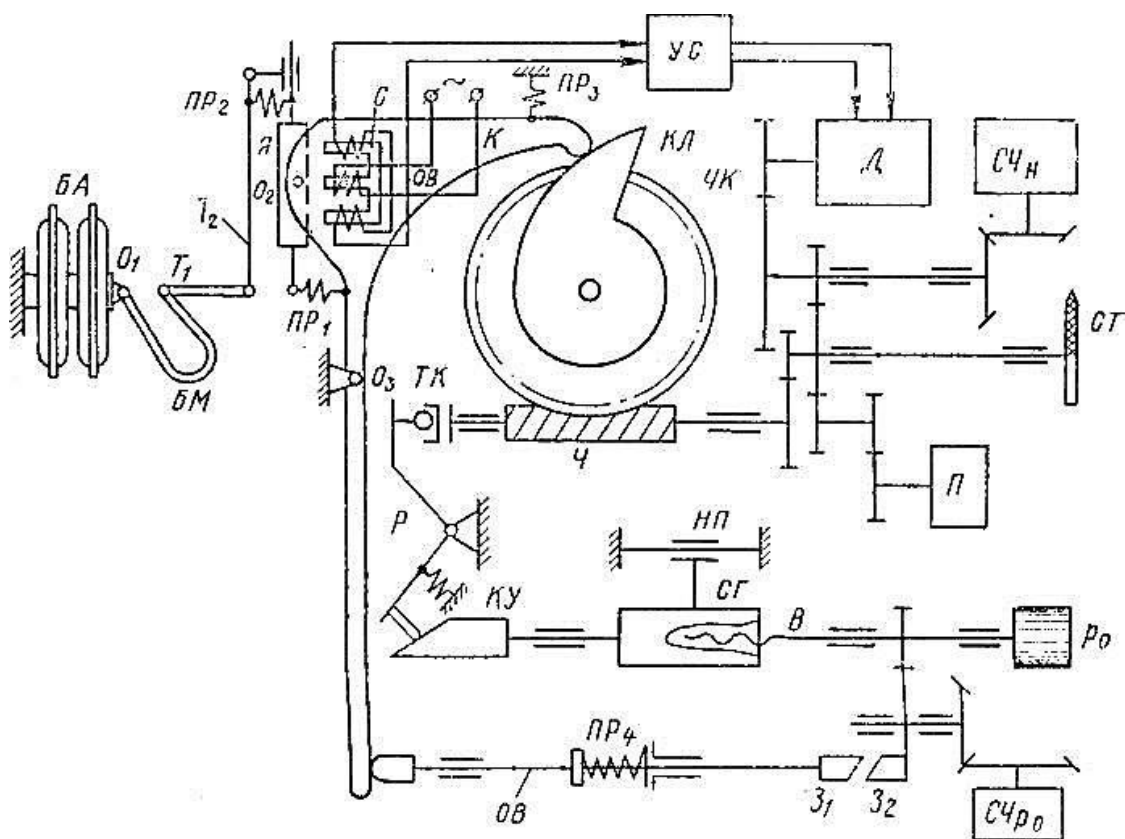


Рисунок 2 – Кинематическая схема высотомера УВИД

Индукционный датчик состоит из статора С и якоря Я. Средняя катушка на статоре запитывается переменным напряжением и создает переменный магнитный поток, который замыкается по якорю и статору и пронизывает обе рабочие катушки. Магнитный поток индуцирует в них ЭДС. Когда якорь расположен относительно статора симметрично, то магнитные потоки  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  одинаковы и создают одинаковые ЭДС. Направленные навстречу друг другу эти ЭДС компенсируют друг друга, и на выходе напряжение отсутствует ( $U_{\text{вых}} = 0$ ). При подъеме на высоту анероидная коробка, расширяясь, перемещает якорь, и это влечет за собой изменение потоков  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  и появление выходного напряжения, не равного нулю. Выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$ , пропорциональное деформации анероидной коробки, поступает в усилитель. После усиления по

мощности электрический сигнал приходит на двигатель, который начинает вращаться. При этом он перемещает счетчик и стрелку высоты, потенциометр, с которого идет электрический сигнал. Одновременно двигатель через червячную пару Ч перемещает кулачек КЛ. Коромысло К разворачивает статор индукционного датчика к его симметричному положению относительно якоря. При этом напряжение с индукционного датчика уменьшается до нуля и двигатель останавливается.

Как было описано ранее, выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$ , пропорциональное деформации анероидной коробки, поступает в усилитель. Как раз это выходное напряжение и можно использовать во встроенном АЦП в микроконтроллере. Оно будет преобразовываться в информацию о текущей высоте полета, которая, в свою очередь будет сравниваться с текущим (измеренным) значением давления в пассажирском салоне.

Для обеспечения жизнедеятельности пассажиров в первую очередь, а также для комфортных условий полета нужно поддерживать давление в пассажирском салоне. В идеальных условиях давление должно быть таким же, как и атмосферное давление в точке вылета. Однако, в таком случае, оно было бы слишком высоким, и на большой высоте конструкция самолета могла бы просто не выдержать такой значительный перепад давления. Для этого приходится идти на компромиссы.

На всех этапах полета давление в салоне изменяется по определенному закону. Ниже будет более подробно описан принцип работы системы регулирования давления на борту.

Система автоматического регулирования давления начинает свою работу с момента запуска двигателей самолета. На рисунке ниже представлен график зависимости высоты полета и так называемой «высоты в кабине». Для примера взят график из технической документации самолета Boeing 737.

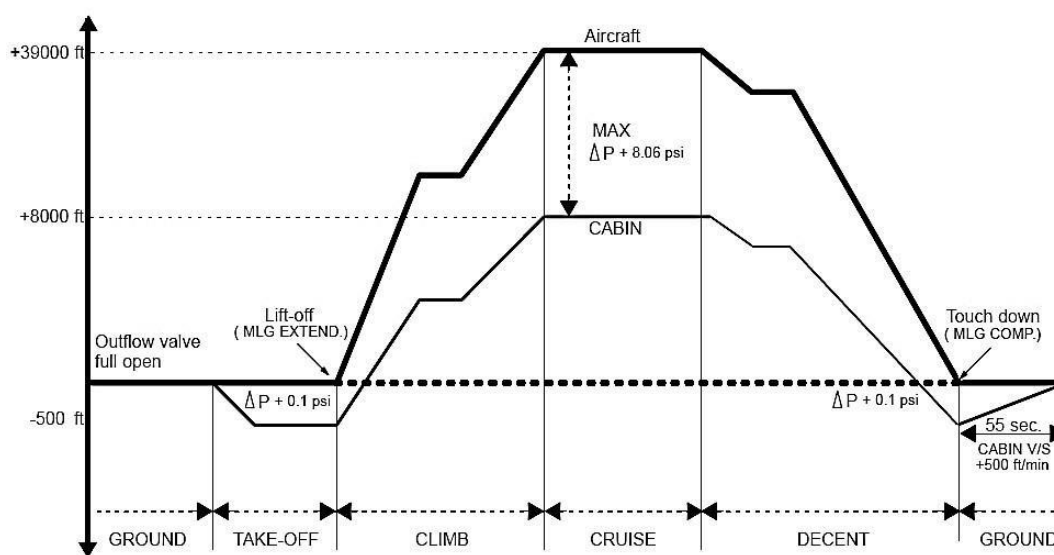


Рисунок 3 – График разности давлений внутри и снаружи самолета на всех этапах полета



Как было сказано выше, САРД начинает работать с момента запуска двигателей. Из графика видно, что на земле (GROUND) значение давления в салоне соответствует значению атмосферного давления над уровнем моря в текущей точке планеты. После закрытия люка самолета происходит дополнительный наддув давления в кабине, порядка 5 мм рт. ст. Это значение сохраняется в процессе руления и вплоть до отрыва (TAKE-OFF) самолета от взлетно-посадочной полосы. С набором высоты (CLIMB) давление снаружи начинает падать. Пропорционально этому снижается и давление в кабине самолета. Действующий стандарт герметизации салонов самолетов определен в разделе 25.841 Федеральных авиационных предписаний (FAR) Федерального авиационного агентства (FAA) [3]. Согласно этому стандарту, давление в салоне при нормальных рабочих условиях не должно быть выше давления на высоте 2 450 м. Как видно из рисунка 3, давление в кабине падает до давления, примерно соответствующего высоте 8000 футов, или 2438 м. Таким образом, при полете на эшелоне (CRUISE) около 11 км, создается перепад давлений, равный не более 8,06 psi, или около 416 мм рт. ст. Такое значение безопасно для фюзеляжа самолета и, в то же время, относительно комфортно для пассажиров. При выполнении снижения (DECENT) система автоматического регулирования давления постепенно повышает давление в салоне и тем самым выравнивает его с атмосферным давлением в точке посадки (GROUND). Исходя из этого закона изменения давления и будет оцениваться разность давлений в кабине воздушного судна.

В заключение хотелось бы отметить, что рассмотренный алгоритм работы дистанционных измерителей давления воздуха полностью удовлетворяет требуемым нормам и качествам измерения воздуха на борту воздушного судна.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Телекоммуникации и связь. Сетевые технологии ZigBee Обзор элементной базы – [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.electronics.ru/files/article\\_pdf/2/article\\_2955\\_750.pdf](http://www.electronics.ru/files/article_pdf/2/article_2955_750.pdf) (дата обращения: 25.11.2023)
2. Яндекс диск. Высотомеры электромеханические УВИД-30-15, УВИД-30-30, УВИД-15Ф, УВИ-30, УВИ1-30, УВИ-1-В3. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://disk.yandex.ru/i/opvleFmSt9JLW> (дата обращения: 25.11.2023)
3. Сайт федерального агентства воздушного транспорта – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.favt.ru> (дата обращения: 25.11.2023)

## БОРТОВАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С ПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОВЫШЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Опперман П. А., Баракин В. Д.

Напольский В. П., канд. техн. наук  
(научный руководитель)

*ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина»  
(г. Воронеж)*

**Аннотация.** Для обеспечения концепции «полностью электрического самолёта» или концепции «наиболее электрифицированного самолёта» необходима замена малонадёжных силовых приводов на силовые электроприводы, наиболее надёжными и эффективными из которых являются бесконтактные электроприводы. Наиболее перспективными бесконтактными электроприводами являются вентильно-индукторные двигатели. Для разработки вентильно-индукторных двигателей большой мощности необходимо электроснабжение постоянного тока повышенного напряжения 270 – 300 В.

**Ключевые слова:** наиболее электрифицированный самолёт, электрогидропривод, пневмопривод, электромеханизм, силовой вентильно-индукторный привод, пневмостартер.

Несмотря на существенный прогресс в авиационной отрасли, уровень электрификации современных самолётов ещё не очень высок. Электрификация в основном затрагивает бортовое оборудование, а силовые исполнительные приводы в основном остаются электрогидравлическими и электропневматическими, обладающими многими недостатками, способствующими снижению их надёжности. Данные недостатки можно устранить заменой традиционных силовых приводов самолета на электроприводы.

Современные электроприводы, несмотря на более высокую их функциональную и эксплуатационную надёжность, не могут в полной мере заменить другие виды приводов, так как, например, электропривод постоянного тока 27 В будет иметь гораздо худшие массогабаритные характеристики, чем характеристики электрогидропривода при сопоставимой мощности.

Решением данной проблемы на борту воздушных судов может являться повышение напряжения постоянного тока до 270 В и использование в качестве электропривода вентильно-индукторного привода на основе бесконтактного вентильно-индукторного двигателя постоянного тока.

Достоинствами индукторных машин являются бесконтактность, простота конструкции ротора, высокая надёжность, дополнительная возможность регулирования выходных характеристик машины изменением тока возбуждения, работоспособность в сложных условиях окружающей среды и др.

Главный недостаток индукторных машин проявляется в наличии постоянной составляющей магнитного потока, которая не участвует в наведении рабочей ЭДС, но загружает магнитопровод и требует увеличения его объема и массы по сравнению с магнитопроводом обычных синхронных машин.

Но вентильно-индукторный двигатель относительно других типов электродвигателей обладает рядом преимуществ:

- 1) благодаря небольшому магнитному сопротивлению минимизируются потери энергии;
- 2) высокие показатели безопасности при эксплуатации;
- 3) возможность продолжительной работы при пиковых нагрузках;
- 4) широкий диапазон скоростей.

При повышении питания до 270 В вентильно-индукторный привод способен служить заменой электрогидро- и электропневмопривода, что позволит существенно улучшить массогабаритные характеристики силовых исполнительных устройств и повысить их надежность.

Для разработки общей структуры силового электропривода повышенного напряжения необходимо принять во внимание общую структуру обычного электропривода, например – структуру электропривода рулевых поверхностей, а затем преобразовать её для работы в сети постоянного тока повышенного напряжения.

Структура электропривода рулевых поверхностей на базе бесконтактного двигателя постоянного тока повышенного напряжения на основе вентильно-индукторного двигателя должна включать в себя:

- электромеханическую систему для воздушных судов в составе вентильно-индукторного двигателя;
- электромеханизм поступательного движения с тормозом от произвольного перемещения штока и датчик обратной связи;
- блок управления вентильным двигателем.

В общем виде структурная схема электропривода на базе вентильно-индукторного двигателя может иметь вид, представленный на рис. 1.

Вентильно-индукторный привод может использовать в своём составе как вентильно-индукторный двигатель с независимым возбуждением, так вентильно-индукторный двигатель и с самовозбуждением.

Вентильно-индукторный привод с вентильно-индукторным двигателем независимого возбуждения можно рассматривать, как перспективный для широкого класса задач – от приводов насосов до привода рулевых поверхностей или стоек шасси. Этот тип привода по сравнению с приводом на основе вентильно-индукторного двигателя с самовозбуждением в максимальной степени адаптирован к технологии векторного управления, способен работать в тормозных режимах и, кроме того, не требует специальных решений в области силовой части.

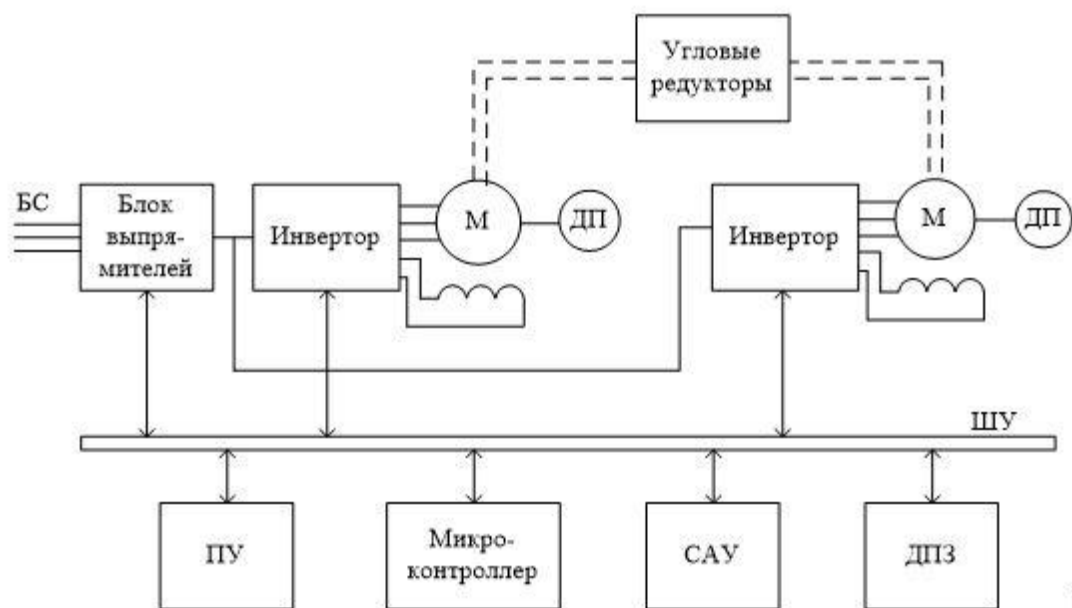


Рисунок 1 – Общий вид структуры электропривода на базе ВИД

Для оценки возможности применения вентильно-индукторного двигателя повышенного напряжения вместо используемых в настоящее время гидроприводов типа РП60-3 мощностью 10 кВт был спроектирован вентильно-индукторный двигатель с параметрами, не уступающими прототипу.

Для выбора элементов структурной схемы систем управления рулевыми поверхностями (например, закрылками) необходимы следующие элементы:

- электромеханизм вентильно-индукторного двигателя;
- блок датчиков концевых выключателей;
- электромеханизм тормоза;
- датчики положения;
- блок управления и коммутации вентильно-индукторного двигателя.

Структура системы управления электропривода и параметры входящих в нее элементов определяются, с одной стороны, функциональным назначением приводимой в движение технологической установки и предъявляемыми техническими требованиями, а с другой стороны, спецификой конкретного типа электромеханического и электрического преобразователей, в значительной степени определяющих регулировочные свойства электропривода. В данной структуре специфическими элементами являются коммутатор фаз и регулятор углов управления, обеспечивающие совместно с датчиком положения ротора режим самокоммутации фаз. Эти элементы в том или ином виде присутствуют в системе управления вентильно-индукторного привода любого типа.

При скоростях вращения  $\omega$ , меньших базовой скорости  $\omega_{\text{баз}}$ , основным управляющим воздействием является сигнал  $U_y$  выхода регуляторов координат, осуществляющий через ШИМ-генератор управление напряжением, прикладываемым к фазе обмотки статора на рабочем интервале цикла коммутации.

Значение  $\omega_{\text{баз}}$  не остается постоянным, а зависит от заданного с помощью дополнительных управляющих воздействий режима коммутации фаз и берется из соответствующей механической характеристики  $\omega_{\text{баз}}$ , получаемой при  $U_{\text{у max}}$ , т.е. при 100% ШИМ и приложении к фазе полного напряжения источника питания  $U_{\text{ф}} = U_{\text{ИП}}$ .

Дополнительные управляющие воздействия – углы включения  $\theta_{\text{вкл}}$ , закорачивания  $\theta_{\text{зак}}$  и отключения  $\theta_{\text{откл}}$  расширяют регулировочные свойства электропривода, но в то же время требуют их взаимной увязки с каналом регулирования напряжения.

Структурная схема системы управления вентильно-индукторного двигателя представлена на рис. 2.

Силовая часть привода состоит из двигателя, трех преобразователей П1 – П3. ВИД – девятифазный. Обмотка статора разбита на три трехфазные группы. Имеется одна общая обмотка возбуждения ОВ и общий датчик положения ротора датчика положения ДП.

Каждый из трех преобразователей подключен по силовому входу к сети по силовому выходу к своей трехфазной группе обмоток статора.

Все три преобразователя имеют выход для питания обмотки возбуждения двигателя и подключены к ней параллельно. По информационным входам каждый из трех преобразователей подключен к своей группе выходов импульсного датчика положения ротора.

Все контроллеры преобразователей объединены между собой шиной управления ШУ.

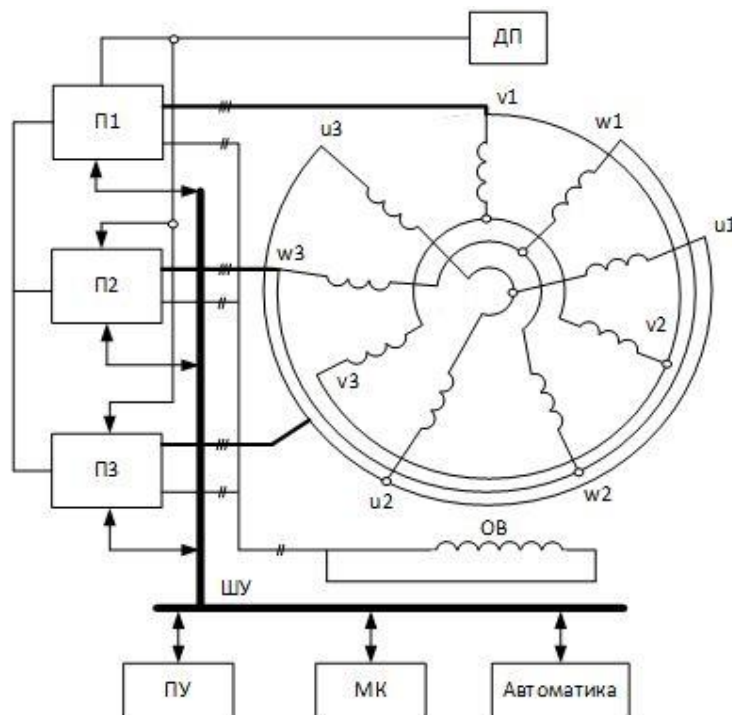


Рисунок 2 – Структурная схема системы управления трехсекционным вентильно-индукторным двигателем

К шине управления подключаются и дополнительные интеллектуальные модули, обеспечивающие сопряжение с датчиками и управляющими устройствами.

Преобразователи П1 – П3 одинаковые, каждый состоит из двух модулей – модуля активного фильтра (выпрямителя) на входе и модуля инвертора на выходе.

Данная система электропривода обладает рядом преимуществ:

1) При использовании активного фильтра обеспечивается двунаправленный обмен энергией с электрической сетью при поддержании во всех режимах работы двигателя коэффициента мощности, близкого к единице. Коэффициент полезного действия системы электропривода в целом составляет около 92% [4].

2) Благодаря отсутствию жестких ограничений на максимальную частоту вращения двигателей, ускорения, производные тока, продолжительность работы в заторможенном состоянии, система обеспечивает формирование статических и динамических характеристик с учетом только технологических требований и ограничений по механике.

3) Дробление мощности и, соответственно, дробление обмотки статора на группы при питании каждой из них от несвязанных по силовой части преобразователей создает условия «горячего» резервирования на случай отказов в преобразователях и возможность продолжения работы с потерей части мощности. Индукторная часть позволяет обеспечивать трехкратное резервирование.

Структура силовых преобразователей такова, что пропадание напряжения сети не является аварийным режимом, привод будет управляемым вплоть до его остановки и наложения тормоза.

4) Прямое цифровое управление всеми силовыми ключами преобразователей от высокопроизводительных контроллеров с двумя менеджерами событий и общим количеством одновременно управляемых силовых ключей до 16, программной идентификацией электрического положения и скорости привода дает возможность создавать самые совершенные структуры управления, вплоть до систем векторного управления и прямого цифрового управления моментом.

Кроме этого, вентильно-индукторный двигатель допускает длительную работу с номинальным моментом в заторможенном состоянии, многократно большие ускорения, не имеет щеточно-коллекторного узла (машина бесконтактная), не выделяет тепла в роторе, практически не требует обслуживания, значительно проще в ремонте и на 30% легче других двигателей.

Структурная схема двигателя для самолета с повышенным уровнем электрификации имеет вид, представленный на рисунке 3.

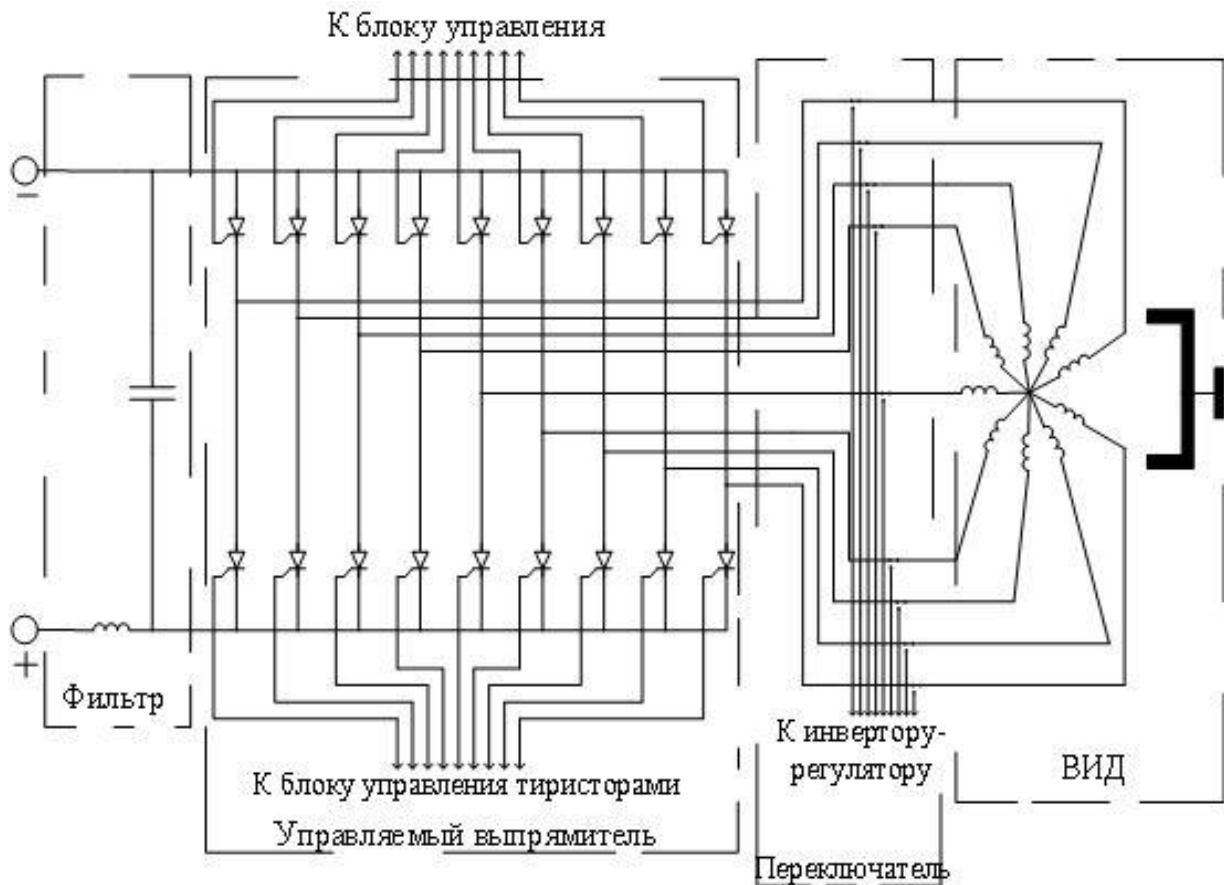


Рисунок 3 – Функциональная схема вентильного двигателя постоянного тока

Для реализации выполнения силового электропривода постоянного тока повышенного напряжения необходимо бортовое электропитание повышенного напряжения постоянного тока на основе синхронного генератора и выпрямительного устройства. Генератор постоянного тока должен быть повышенного напряжения (270 – 300 В) на нагрузку не менее 800 А.

Для уменьшения пульсаций выходного напряжения и снижения массы фильтра число фаз двигателя выбрано равным девяти. Постоянство напряжения на выходе обеспечивается регулированием угла отпирания тиристорov управляемого выпрямителя и выбором фильтра.

Благодаря этому появляется возможность осуществлять запуск авиадвигателя без дополнительного пневмостартера.

Подача напряжения на обмотки в стартерном режиме производится от инвертора-регулятора через контакты переключателя.

По сравнению с коллекторными машинами вентильные двигатели постоянного тока имеют более простое устройство, лучшие энергетические и массогабаритные показатели, допускают эксплуатацию в более трудных условиях окружающей среды, отличаются простотой обслуживания.

Недостатки вентильных двигателей постоянного тока состоят в наличии пульсаций скорости вращения вала, что требует применения сглаживающих фильтров, а также относительной сложности управляющих схем коммутаторов.

Для современных вентильных двигателей постоянного тока характерна конструкция индуктора с радиальной или тангенциальной поляризацией постоянных магнитов на основе соединений редкоземельных металлов с кобальтом, имеющих высокую удельную магнитную энергию.

В таких вентильных двигателях постоянного тока применяются управляемые коммутаторы, с помощью которых осуществляется быстродействующее регулирование и стабилизация выпрямленного напряжения якоря.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Корнилов С.В.* Объектно-энергетический подход к проектированию систем электроснабжения беспилотных летательных аппаратов // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: материалы Междунар. науч.-тех. конф., посвященная 85-летию гражданской авиации России (Москва, МГТУ ГА, 22–23 апреля 2008 г.). – М.: МГТУ ГА, 2008. – С. 126.
2. *Копылов И. П.* Электрические машины. Учебник для вузов / И. П. Копылов. – 4-е изд., испр. – М.: 2004.
3. *Лёвин А. В.* Полностью электрифицированный самолет – от концепции к реализации / А. В. Лёвин, И. И. Алексеев // *Авиационная промышленность.* – 2006. – №2. – С. 24-31.
4. ГОСТ Р 54073-2017.
5. *Халютин С. П.* Системы электроснабжения летательных аппаратов: учебник для слушателей и курсантов ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, а также для ВУЗов, осуществляющих подготовку инженеров по авиационному оборудованию / Под ред. С. П. Халютина. – М.: Изд. ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2010. – 428 с.
6. *Кузмичев Р. В.* Генератор в системе электроснабжения самолета с повышенным уровнем электрификации. ОАО «ОКБ Сухого».
7. *Кузнецов В. А.* Вентильно-индукторные двигатели. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 70 с.
8. *Козаченко В. Ф.* Электропривод на основе индукторного двигателя с электромагнитным возбуждением: Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика / В. Ф. Козаченко, В. Н. Остриров, А. М. Русаков // *Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».* – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. № 45. – С. 525-526.



**СЕКЦИЯ**  
**«СИСТЕМЫ АВИАЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОЛОКАЦИИ,**  
**РАДИОНАВИГАЦИИ И МЕТОДЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ»**  
**«СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ»**

---

*Председатель – Лежанкин Б. В., заведующий кафедрой АРЭО, канд. техн. наук, доцент*

**УДК 623.746**

**ЗОНАЛЬНАЯ НАВИГАЦИЯ**

Гладкова И. Ю., Есенова А. В.

Лашманов С. В.  
(научный руководитель)

*Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала  
авиации Б. П. Бугаева  
(г. Ульяновск)*

**Аннотация.** Можно заметить, что в последнее время зональная навигация (или RNAV) крайне заменяет те методы навигации, которые являются для нас традиционными с использованием наземных радиосредств. В наши дни на радиочастотах зачастую встречается команда авиадиспетчера «CLEARED DIRECT TO», значением которой является «разрешаю полет прямо на», при этом местоназначение, куда разрешается полет, обычно не отмечено наземными радиосредствами, а лишь обозначено координатами. Данная команда выполняется исключительно с использованием оборудования RNAV. Оно действует в течение всего полета, особенно при осуществлении захода на посадку, так как это очень ответственный этап. В ближайшем будущем RNAV окончательно заменит привычные нам методы навигации.

**Ключевые слова:** аэродромы, самолеты, маршруты.

В первую очередь для рассмотрения данного метода требуется дать ему определение. Итак, зональная навигация (RNAV) – это один из методов навигации, благодаря которому ВС могут лететь по удобной для них траектории в границах работы РЛС или в тех границах, которые определены возможностями автономных средств, или их комбинации.

Раньше маршрут было необходимо обязательно строить через радионавигационные средства, иначе говоря, было необходимо обеспечить радионавигационное наведение на протяжении всего пути следования. Понятно, что за счет данного способа навигации продолжительность полета увеличивается, что влечет за собой рост конечной стоимости перелета.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод о том, что применение зональной навигации крайне удобно и имеет важные преимущества. Для более четкого понимания, перечислим плюсы использования тезисно:

1. Более прямолинейные полеты.
2. Податливость системы маршрутов обслуживания ВД.

3. Более эффективное и рациональное использование ВП, что в свою очередь обеспечивает увеличение ПС ВС в зоне.

4. Расширение тактической податливости органов ОВД обслуживания воздушного движения.

5. Уменьшение численности наземных радионавигационных точек в зоне.

Когда преимущества известны и очевидна необходимость использования RNAV, закономерно задаться вопросом, как же будет происходить установление нахождения ВС в системах зональной навигации. Ответим и на этот вопрос.

Фундамент каждой системы зональной навигации – это датчик, умеющий достоверно устанавливать координаты ВС, и навигационная база данных.

Стоит упомянуть, что изначальные системы зональной навигации не были полноценными системами в их нынешнем виде, они функционировали исключительно от РНС и давали возможность для полетов вне трасс при соблюдении требования о нахождении в зоне действия некоторого числа радиомаяков VOR/DME. На пульте управления отображались частоты радиомаяков, а путь определялся точками, определенными радиалами и дальностью.

На протяжении долгого времени активно использовались системы дальней навигации, в том числе LORAN-C. В отсутствие спутниковых навигационных систем, иных методов вычисления местонахождения ВС в течение перелета океана не существовало. Системы дальней навигации, обеспечиваемые на наземных радиостанциях, давали возможность вычислять географические координаты ВС с достаточной точностью (для LORAN-C около 500 метров). Дальность действия LORAN-C была до 2500 километров.

Планы на будущее предполагают окончательное отречение от наземных радиосредств и их замену на GNSS (Global Navigation Satellite System), включающую уже активные системы GPS и ГЛОНАСС, также будет осуществлен запуск европейской системы GALILEO. Совместная работа нескольких отдельных СНС обеспечит возможность повысить безошибочность и постоянство навигации методом RNAV.

Также разберем бортовое оборудование RNAV.

Так как инерциальной навигационной системой обычно оснащены исключительно тяжелые ВС, совершающие коммерческие перелеты, наиболее обширное становление было осуществлено системам RNAV, в которых GPS является единственным датчиком координат.

Преимущественная доля ныне используемых ВС в коммерческой авиации оснащена комплексной системой управления.

Оборудование зональной навигации оснащает часть свойственных для этого способа навигации функций:

- 1) индикация координат ВС и данных об их достоверности;
- 2) непрерывная индикация навигационных данных, в том числе ЛБУ, путевую скорость, расчетное время полета и расстояние до точки пути, ФПУ, пеленг на точку пути;

- 3) отображение данных о ЛБУ на CDI, направление сигналов в автопилот;
- 4) опция «DIRECT TO»;
- 5) опция формирования плана полета;
- 6) обеспечение полета параллельно ЛЗП (OFFSET) с определенной линией бокового уклонения.

Но если зональная навигация предполагает возможность удобного маршрута без привязки к радиолокационным средствам, то каким образом строится этот маршрут? Он выстроен на основе точек пути (WPT–Waypoint), точка пути задается координатами в системе координат WGS-84. Существует два вида точек пути: FLY-BY и FLY-OVER, их пролет осуществляется с упреждением или без него. Все маршрутные точки имеют тип FLY-BY, точки FLY-OVER применяются в основном на аэродромных схемах, например точки ухода на второй круг, точки, определяющие зону ожидания.

Навигационная база данных систем RNAV в обязательном порядке обновляется в соответствии с циклами AIRAC каждые 28 дней. Формат, в котором кодируется навигационная информация, зависит от производителя и модели конкретного оборудования. Наиболее широкое распространение получил формат данных ARINC-424.

В базе данных каждая точка задается координатами, также ей присваивается признак fly-by или fly-over, а для каждого участка маршрута указываются требования к его выполнению в соответствии с концепцией PATH TERMINATOR, в соответствии с которой участки обозначаются двумя буквами, где первая означает метод выполнения полета на участке, а вторая окончание участка. Например, TF – track to fix, или CA – course to altitude. Всего существует 22 варианта типовых участков, которые позволяют закодировать ARINC-424.

Ни для кого не секрет, что главной задачей ОВД является обеспечение безопасности полетов, а для этого необходима высокая точность навигации RNAV. Именно поэтому к оборудованию предъявляются определенные требования по точностным характеристикам и надежности. Эти требования сформулированы в концепции PBN (Performance Based Navigation), требования по точности выражаются в морских милях допустимого бокового уклонения, например, навигационная спецификация RNP-10 (RNP – Required Navigation Performance) означает, что с вероятностью 0,95 полет должен проходить в пределах  $\pm 10$  морских миль от оси трассы.

Как мы знаем, зональная навигация – это не только полет по произвольным маршрутам состоящих из выбранных определенных точек, но и расчет маршрута следования воздушного судна в n-заданном пространстве [2].

Наведение воздушного судна зависит от выбранного пространства, поэтому существует 3 вида зональной навигации:

1. LNAV
2. VNAV
3. 4D-навигация

Первый тип основан на наведении воздушного судна только в горизонтальной плоскости, при этом за самолетом нет привязки к наземному

радиомаяку. За счет простоты использования данного метода LNAV является наиболее популярным среди других.

VNAV это один из видов зональной навигации, включающий в себя принцип работы LNAV, но уже с дополнительным вертикальным наведением. Данная процедура осуществляется в трехмерном воздушном пространстве. Каждая точка пути имеет свою высоту и угол наклона. Для осуществления захода на посадку и снижение этот способ является самым подходящим и удобным, так как дает возможность осуществлять сложные маневры.

4D-навигация самый современный, наиболее эффективный и экономичный способ полета воздушного судна. Здесь помимо контроля за вертикальным и горизонтальным наведениями существует временное, отслеживающее время пролета контрольных ориентиров. Данный метод дает самое точное представление о местоположении воздушного судна в контролируемом воздушном пространстве. Также он является наиболее используемым при облете сложных метеословий, например, грозových фронтов.

Для решения проблемы нарушения НПС сектора ОВД предлагается использовать зональную навигацию, которая дает возможность осуществлять перелет без зависимости РНС. Это приводит к существенному сокращению длительности перелета, то есть экономится горючее и иные затраты, связанные с эксплуатацией ВС. При осуществлении перелета с применением зональной навигации отсутствует необходимость в широкой сети наземных радионавигационных средств. Помимо этого, ее использование дает возможность эффективнее использовать ВП, увеличивая его ПС. Такой метод позволит ВС проходить РНС в разное время, не создавая конфликтов, а также это дает возможность не допустить нахождения большего НПС количества ВС.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Вовк В. И.* Зональная навигация / В. И. Вовк, А. В. Липин, Ю. Н. Сарайский. – СПб., 2004.
2. Руководство по требуемым навигационным характеристикам (Бос 9613 ICAO). Монреаль, 1999.
3. *Шестаков И. Н.* Модель функционирования диспетчерского пункта системы управления воздушным движением, определяемая предельным состоянием авиадиспетчера / И. Н. Шестаков // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2015. – № 3. – С. 1-4. – EDN TOBTWJ.
4. *Кан А. В.* Разработка методов прогнозирования, планирования и регулирования потоков воздушного движения с учетом требований по безопасности и эффективности выполнения полетов : специальность 05.13.01 "Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кан Анна Владимировна. – Москва, 2011. – 200 с. – EDN QFQAJX.
5. Федеральные авиационные правила «Организация планирования использования воздушного пространства РФ», 2014. – С. 94.
6. *Липин А. В.* Применение зональной навигации при обслуживании воздушного движения : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Аэронавигация" и специальностям высшего профессионального образования "Эксплуатация воздушных судов и организация воздушного движения", "Летная эксплуатация воздушных судов" и "Аэронавигационное обслуживание и использование

воздушного пространства" / А. В. Липин, Ю. И. Ключников; М-во трансп. Российской Федерации, Федеральное агентство воздушного трансп. (Росавиация), ФГОУ ВПО "Санкт-Петербургский гос. ун-т гражданской авиации". – Санкт-Петербург : Университет ГА, 2011. – 78 с. – EDN QNXVAV.

УДК 621.396

## АНТЕННЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Клебан Г. А., Кадочников Д. М., Кададова А. В.

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф. Устинова  
(г. Санкт-Петербург)*

**Аннотация.** В статье рассмотрены варианты антенн для бортового комплекса АЗН-В малого космического аппарата (МКА) формата CubeSat в качестве носителей аппаратуры наблюдения за полетом летательных аппаратов (ЛА). Проведены расчеты радиолинии и определены геометрические параметры антенны 1090 МГц. Предложена возможная конструкция и показаны варианты их реализации.

**Ключевые слова:** система наблюдения, антенна, АЗН-В, малые космические аппараты, CubeSat.

В настоящее время наблюдается стремительное развитие области применения МКА в формате "CubeSat" [1]. Одним из важных аспектов обеспечения безопасности в авиации является постоянное наблюдение за полетами ЛА. Для решения этой задачи в малонаселенных регионах страны, где отсутствуют радиолокационные комплексы и другие системы наблюдения, могут использоваться спутниковые системы наблюдения, одна из которых представлена на рисунке 1.

Технология ADS-B



Рисунок 1 – Спутниковый АЗН-В. *Источник: sputnix.ru*

На рисунке 2 представлено схематичное изображение взаимодействия в системе автоматизированного зависимого наблюдения-вещания (АЗН-В). В ней ЛА, оборудованный транспондером, получает информацию о своем местоположении от глобальных спутниковых навигационных систем или собственной инерциальной навигационной системы. Он передает в эфир для других ЛА и наземных станций.



Рисунок 2 – Схематичное изображение взаимодействия в системе АЗН-В.  
*Источник:* <https://skalolaskovy.ru>

На борту воздушного судна установлена стандартная радиолокационная аппаратура с режимом АЗН-В, функционирующая на частоте 1090 МГц. В состав передаваемого пакета данных включены текущие координаты воздушного судна, его воздушная скорость, курс, бортовой номер и шестнадцатиричный идентификатор [2].

Для обеспечения наблюдения ЛА при помощи МКА требуется принять сигналы ответчиков(транспондеров), обработать их и выдать информацию при очередном сеансе связи спутника с наземной станцией. Решение этой задачи требует размещения на борту МКА комплекта радиооборудования [3].

Для оценки энергетического бюджета радиолинии примем расстояние до космического аппарата (КА) равным 1500 км, что приведет к потерям на распространение в свободном пространстве на уровне 159 дБ. Дополнительные потери из-за прохождения ионосферы и несовпадения плоскостей поляризации на данных частотах составляют 6 дБ. Мощность бортового передатчика воздушного судна обычно составляет около 200 Вт (53 дБм). Суммарные потери на уровне 165 дБ. Эффективная излучаемая мощность (EIRP), учитывая мощность передатчика и коэффициент усиления антенны, составляет 60 дБм. Получаем мощность сигнала ответчика ЛА на входе приемника МКА на уровне -105 дБм. Для компенсации потерь на трассе распространения и коэффициент усиления ( $K_u$ ) бортовой антенны МКА должен составлять около 6-8 дБи [4].

На борту МКА чаще всего применяются слабонаправленные дипольные и штыревые антенны ( $K_u=2-3$  дБи) с круговой поляризацией для работы командных и телеметрических радиолиний (КТР) [5]. Рассматриваемая радиолиния обладает более высокими требованиями к  $K_u$  из-за большего

затухания на частоте 1090 МГц, нежели 435-438 МГц, которые чаще всего применяются для КТР МКА. Основным требованием к такой антенне является максимальная ширина главного лепестка диаграммы направленности, для компенсации ориентации МКА в пространстве, при сохранении высокого  $K_u$ .

В таблице 1 представлено сравнение различных типов антенн. В данном случае оптимальным вариантом по критериям ширины главного лепестка диаграммы направленности, возможности удобного монтажа и  $K_u$  является панельная антенна, представленная на рисунке 3.

Таблица 1 – Сравнение характеристик антенн

№ п/п	Тип антенны	Ширина главного лепестка диаграммы направленности, градусов	Коэффициент усиления ( $K_u$ ) дБи	Возможность удобного монтажа в существующий конструктив МКА
1	Дипольная	180	2.15	да
2	Штыревая (коллинеарная)	30	4-6	да
3	Панельная	30-80	6-11	да
4	Развертываемая спиральная	20-40	7-15	нет
5	Рупорная	30-60	8-12	нет

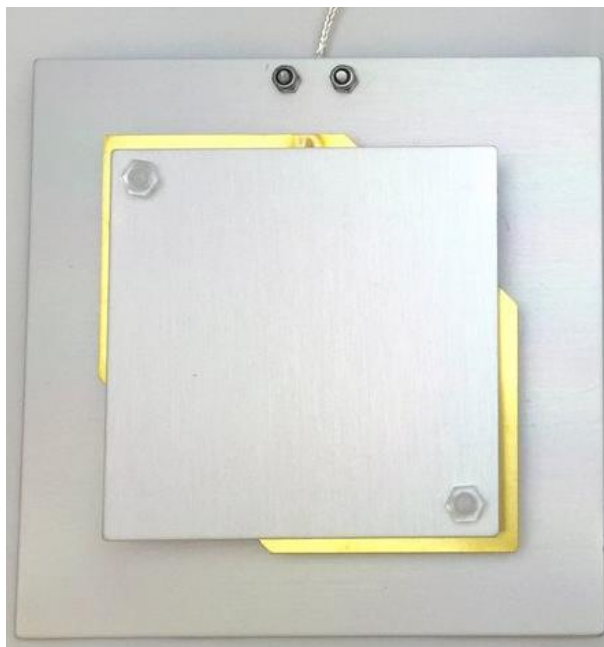


Рисунок 3 – Планарная антенна

Конструктивно модуль для приема сигналов ответчиков на борту КА может состоять из одной платы с размещенной на ней планарной антенной диапазона 1030-1090 МГц с  $K_u=6-8$  дБи, малошумящего усилителя,

программно-определяемого приемника и вычислителя. В качестве приемника может быть использован комплект микросхем в составе тюнера R820T/T2 и аналого-цифрового преобразователя (АЦП) RTL2832U. Дальнейшая обработка ведется вычислителем. Внешний вид подобного оборудования представлен на рисунке 4.

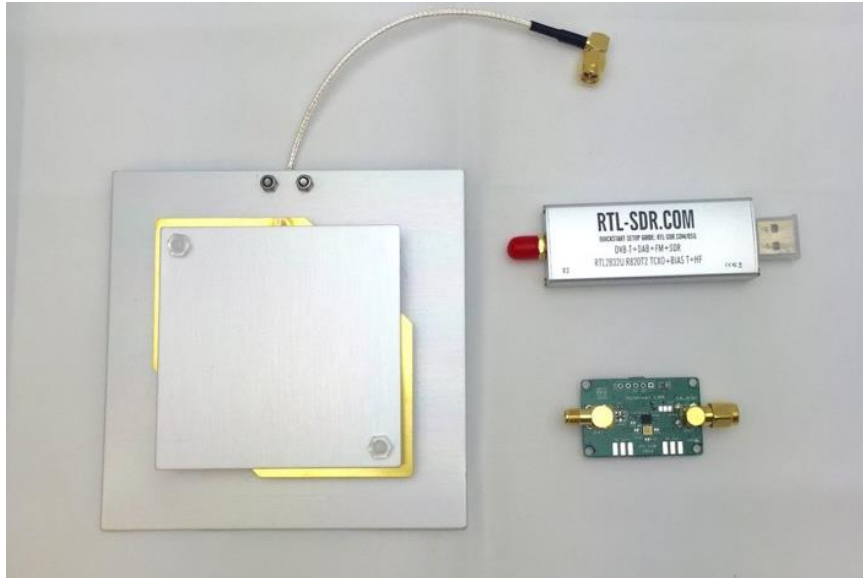


Рисунок 4 – Комплекс для приема сигналов на базе программно-определяемого радио

Рассчитаем габаритные размеры требуемой антенны и полосковой линии согласования в программе CST Studio. В расчетах примем диэлектрическую константу материала подложки равной 4 (среднее значение для стеклотекстолитов марки FR-4 составляет 3.3-4.8), толщину подложки 10 мм и центральную частоту 1090 МГц [6].

На рисунке 5 изображена панельная антенна с торцевым питанием через полосковую линию. Этот варианты антенны может быть применен, однако при использовании схемы питания через зонд, представленной на рисунке 6, снимается необходимость изготовления полосковой линии и увеличенные габаритные размеры. Характеристики обоих вариантов указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение характеристик антенн с различным типом питания

№ п/п	Тип антенны	Высота, мм	Ширина, мм	Ширина полосковой линии, мм	Толщина фольги, мкм	К укорочения
1	Панельная с полосковым питанием	100	64.7	22	35	0.95
2	Панельная с питанием через зонд	87	64.7	0	35	0.95



Полученную информацию необходимо сохранять и направлять на рабочие места диспетчеров службы управления воздушным движением. При необходимости эта информация также может быть направлена на открытые информационные ресурсы.

Таким образом, были рассмотрены различные типы антенн с целью их возможного применения в системе спутникового АЗН-В. Анализ включал в себя учет геометрических и радиотехнических параметров, необходимых для изготовления таких антенн. Расчет геометрических параметров проводился с учетом требований к размещению на борту МКА [7].

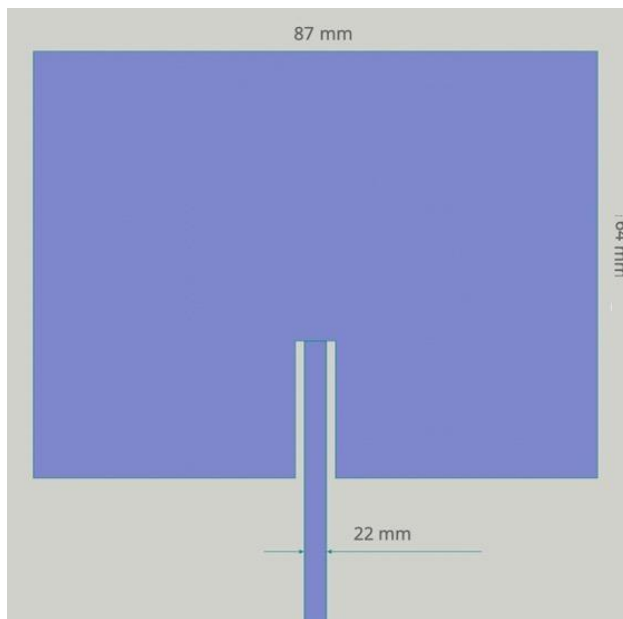


Рисунок 5 – Чертеж панельной антенны с торцевым питанием через полосковую линию

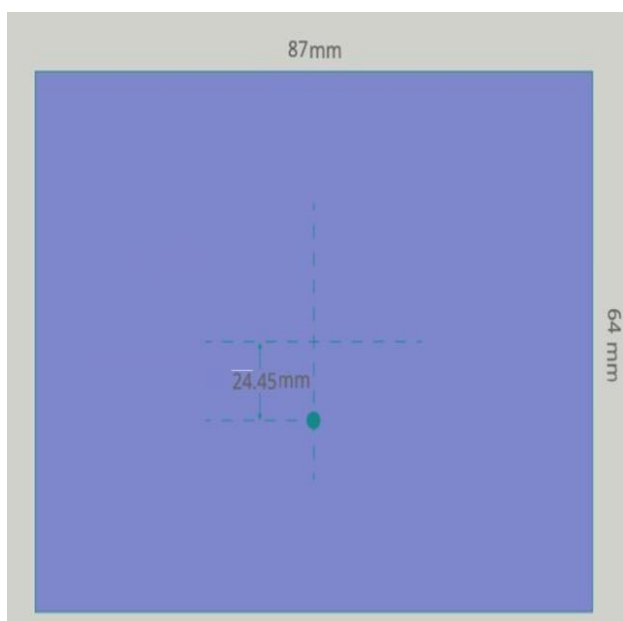


Рисунок 6 – Чертеж панельной антенны с питанием через зонд

Полученные результаты могут служить основой для выбора антенн, обеспечивающих работу подобных систем. Антенны планируется применять в МКА формата Cubesat для строительства орбитальных группировок, которые смогут обеспечивать глобальное наблюдение за перевозками вне зависимости от наличия покрытия наземных радиосредств.

*Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (НИР «Создание опережающего научно-технического задела в области разработки передовых технологий малых газотурбинных, ракетных и комбинированных двигателей сверхлегких ракет-носителей, малых космических аппаратов и беспилотных воздушных судов, обеспечивающих приоритетные позиции российских компаний на формируемых глобальных рынках будущего», FZWF-2020-0015).*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Cubesat Design Specifications Rev.14 – [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2018/01/cubesatdesignspecificationrev14\\_12022-02-09.pdf](https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2018/01/cubesatdesignspecificationrev14_12022-02-09.pdf) (дата обращения: 01.11.2023)
2. Aireon space-based ADS-B – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2021/ADSB/P04-AireonADS-B.pdf> (дата обращения: 30.10.2023)
3. Reception of automatic dependent surveillance broadcast via satellite and compatibility studies with incumbent systems in the frequency band 1 087.7-1 092.3 MHz – [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2413-2017-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2413-2017-PDF-E.pdf) (дата обращения: 01.10.2023)
4. Проблемы получения и особенности применения данных спутниковых АИС и АЗН-В / А. М. Кузнецов, С. В. Трусов, С. А. Бобровский, О. И. Барабошкин // Сборник тезисов докладов пятнадцатой Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", Москва, 13–17 ноября 2017 года / Институт космических исследований Российской академии наук. – Москва: Институт космических исследований Российской академии наук, 2017. – С. 451.
5. S и X диапазонная патч антенна для наноспутников Cubesat / Н. Мейрамбекулы, Б. А. Карибаев, А. А. Темирбаев, А. К. Иманбаева // Вестник Казахского национального университета. Серия физическая. – 2021. – № 3(78). – С. 90-96. – DOI 10.26577/RCPH.2021.v78.i3.10.
6. ГОСТ 26246.5-89(МЭК 249-2-5-87) –Межгосударственный стандарт. Материал электроизоляционный фольгированный нормированной горючести для печатных плат на основе стеклоткани, пропитанной эпоксидным связующим. Технические условия.
7. Генералов А. Г. Миниатюрные антенны для малых космических аппаратов CubeSat / А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев // Сибирский журнал науки и технологий. – 2018. – Т. 19, № 2. – С. 259-270. – DOI 10.31772/2587-6066-2018-19-2-259-270. – EDN RUIVPZ.

## ОЦЕНКА ОСВЕЩЕННОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМАХ

Ли Юньхань

Горбунов А. Л.  
(научный руководитель)

*Московский государственный технический университет гражданской авиации  
(г. Москва)*

**Аннотация.** Исследование представляет собой обзор методов оценки освещенности в компьютерном зрении и дополненной реальности. Анализирует существующие подходы, включая использование вспомогательных маркеров и лиц пользователей. Рассматриваются преимущества и ограничения каждого метода в зависимости от контекста применения и требуемой точности. Освещается также введение новых методов, включая те, что не требуют специальных маркеров и позволяют взаимодействие в реальном времени.

**Ключевые слова:** оценка освещенности, компьютерное зрение, дополненная реальность, вспомогательные маркеры, лица пользователей, методы оценки освещенности.

В работах Ren et al [1] и Liu Wankui et al [2] приводится категорический обзор методов оценки освещенности. В более ранних работах исследователи обычно использовали вспомогательные маркеры для оценки освещенности, где вспомогательные маркеры включают объекты с известными отражающими свойствами поверхности материала или вспомогательную информацию, такую как явления бликов, теней и т.д.

Однако существует недостаток таких методов, который заключается в том, что они требуют использования специальных маркеров или зеркальных отражений в сцене. Кроме того, в системах дополненной реальности требуется взаимодействие с пользователем, поэтому использование лиц или других частей тела для оценки освещенности также является жизнеспособным решением.

Для преодоления этих недостатков были разработаны новые методы оценки освещенности. Например, Канбара и др. [3] предложили метод оценки освещенности путем установки черной отражающей сферы в центре маркерной точки, оценки освещенности в среде путем трассировки лучей и создания полусферического отображения источников света, что обеспечивает взаимодействие в реальном времени.

Jiddi и другие [4] использовали спекулярные точки подсветки в качестве вспомогательной информации для оценки освещенности в дополненной реальности, делая несколько снимков сцены со спекулярно отражающими объектами и фиксируя местоположение точек подсветки в последовательности изображений. Позиции точек подсветки фиксируются, и направление падения источника света рассчитывается на основе положения точки подсветки в трехмерном пространстве по отношению к линии визирования камеры.

Данные методы являются более универсальными и не требуют использования специальных маркеров, что делает их применимыми в различных ситуациях. Однако, при использовании спекулярных точек подсветки для оценки

освещенности, необходимо учитывать, что подобные точки не всегда присутствуют в сцене. Кроме того, использование лиц или других частей тела также имеет свои ограничения, так как не всегда возможно обеспечить стабильное положение источника света относительно объекта.

Таким образом, для эффективной оценки освещенности в различных условиях необходимо использовать разнообразные методы, включая как методы, основанные на специальных маркерах, так и методы, не требующие использования дополнительных элементов в сцене. Кроме того, для повышения точности оценки освещенности можно комбинировать различные методы и использовать компьютерное зрение и машинное обучение для автоматической обработки изображений и анализа данных.

В литературе [5] была разработана модель отражения лица, основанная на двухэтапной итерационной схеме, в которой коэффициенты отражения лица итерационно оптимизируются с учетом распределения света. Данные методы являются более универсальными и не требуют использования специальных маркеров, что делает их применимыми в различных ситуациях. Передаточная функция радиусности, основанная на сферической гармонической функции, также может быть использована для оценки освещенности изображений лица [6]. Для этого параметры получаются путем автономного обучения на базе данных лиц, после чего свет может быть оценен онлайн по изображению лица пользователя.

Кроме того, методы анализа на основе теней представляют собой мощный инструмент для оценки освещенности. В работах [7-8] были предложены несколько методов оценки освещенности с использованием теней в качестве вспомогательной информации, которые не ограничены текстурой изображения. В работе [7] для идентификации областей теней на изображениях сочетаются сигналы светоинвариантности в двумерных изображениях и грубые трехмерные структуры. Авторы также смоделировали источники света в сцене как распределение смеси фон Мизеса-Фишера и использовали алгоритм максимизации ожиданий для решения параметров модели, чтобы получить расположение и интенсивность источников света. В работе [8] была представлена модель, которая объединяет информацию о тени низкого порядка с априорными знаниями высокого порядка для совместной оценки теневой и световой среды. Другие исследовательские группы также предложили решения для оценки освещенности на основе информации о тенях [9]. В целом, использование методов анализа на основе теней позволяет учитывать геометрические особенности объектов и обеспечивает более точную и надежную оценку освещенности.

Вышеперечисленные методы позволяют получить относительно точные результаты оценки, но информация о тенях не существует, если тени затемнены или источники света в сцене распределены равномерно, что создает проблему для устойчивости алгоритма.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рен Х., Циу Х., Хе Ф. и др. Обзор методов синтеза объектов на основе изображений / Х. Рен, Х. Циу, Ф. Хе и др. // Международная конференция по виртуальной реальности и визуализации, Ханчжоу, Китай, 2016. – С. 264-269.

2. Лю Лянь, Лю Ванкуй. Обзор исследований оценки освещенности для дополненной реальности / Л. Лю, В. Лю // Журнал по компьютерному проектированию и графике. – 2016. – Т. 28, № 2. – С. 197-207.
3. Канбара М., Йокоя Н. Оценка окружающей среды источника света в реальном времени для фотореалистичной дополненной реальности / М. Канбара, Н. Йокоя // Международная конференция по распознаванию образов, Лос-Аламитос, Калифорния, 2004. – С. 911-914.
4. Чжоу У., Камбаметту К. Унифицированная методология оценки освещения сцены / У. Чжоу, К. Камбаметту // Обработка изображений и зрение. – 2008. – Т. 26, № 3. – С. 415-429.
5. Ли С., Чжун С. К. Оценка освещенности для правдоподобного освещения в дополненной реальности / С. Ли, С.К. Чжун // Международный симпозиум по всеобъемлющей виртуальной реальности, Чеджу, Корея, 2011. – С. 17-20.
6. Ма Дж.-Т., Чжоу И., Хао Ц. и др. Алгоритм обнаружения источника света на основе маркера куба и зонда сферы / Дж.-Т. Ма, И. Чжоу, Ц. Хао и др. // Доклады SPIE, Международное общество оптической инженерии, 2007. – Т. 6623. - С. 66231X-66231X-8.
7. Джидди С., Робер П., Маршанд Е. Отражательность и оценка освещения для реалистичного дополнения реальных сцен / С. Джидди, П. Робер, Е. Маршанд // Международный симпозиум IEEE по смешанной и дополненной реальности, Мерида, Мексика, 2016. - С. 244-249.
8. Шим Хьунджунг. Лица как световые зонды для переосвещения / Хьунджунг Шим // Оптическое инженерное дело. – 2012. – Т. 51, № 7. – С. 7002.
9. Кнорр С. Б., Курц Д. Оценка освещения в реальном времени от лиц для согласованного рендеринга / С. Б. Кнорр, Д. Курц // Международный симпозиум IEEE по смешанной и дополненной реальности, Мюнхен, Германия, 2014. – С. 113-122.

**УДК 621.317**

## **ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ НИЗКОСКОРОСТНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ВЫБОРКА ДЛЯ СВЕРХБЫСТРОГО АНАЛИЗА СПЕКТРА**

Муравьев И. Ю.

Морозов О. Г.  
(научный руководитель)

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А. Н. Туполева – КАИ  
(г. Казань)*

**Аннотация.** В данной работе представлен радиофотонный метод на основе параллельной низкоскоростной оптической выборки для мгновенного измерения частот спектра микроволнового сигнала. В начале описывается принцип работы предложенной схемы вместе с пояснением подхода по восстановлению исходных значений частот измеряемого сигнала. Далее в качестве анализа корректного функционирования данного подхода приводятся компьютерные симуляции с помощью программного пакета VPIphotonics Design Suite 9.8. Полученные результаты показали, что описанная система позволяет измерять как одночастотные, так и многочастотные микроволновые сигналы, а значение ошибки определения мгновенной частоты в диапазоне от 2.5 ГГц до 42.5 ГГц находилось в пределах  $\pm 0.5$  МГц.

**Ключевые слова:** радиофотоника, измерение мгновенной частоты, оптическая выборка.

Microwave signals are the vast utilized signal type in the nowadays broadband wireless communication, satellites with high-throughput, radar complexes and radio warfare systems [1-3]. Hence, radio frequency (RF) front-end for broadband, fast-speed, and high-resolution microwave frequency processing become very important in modern electronics systems. The growing demand of civil and military gets forward better requirements on frequency, bandwidth, and flexibility of RF front-end especially in the radar systems, and there is a special need for broadband RF front-end with functions pre-defined by software. However, due to the influence of the mobility rate of semiconductor carriers, direct digital synthesizers (DDSs) and analog-to-digital converters (ADCs) can process signals directly only in the frequency range of a few GHz. Therefore, the traditional electronic RF front-end systems have sophisticated structure and poor flexibility, which cannot meet the demands and requirements of the integrated development in the RF front-end direction. Photonic-assisted RF transceiver technologies make full use of the advantages and features of the optical range such as ultra-broadband, tunability in a wide range, reconfiguration, and also anti-electromagnetic interference, which is a potential method to solve the requirements of RF front-end construction.

The review work [4] was summarized perfectly that trough evaluation of the optical sampling in ADCs, new invented schemes can be related to one of four large categories: 1) photonics-assisted ADCs, in which photonic components augment the capabilities of an electronic ADC that is responsible for both the sampling and quantization functions [5]; 2) photonic sampling with electronic quantization [6], where sampling is performed in the optical domain while quantization is made in the electrical domain; 3) electronic sampling with photonic quantization [7], has reversed principle to the previous one; 4) and photonic sampling and quantization [8] are those methods in which both sampling and quantization are executed optically.

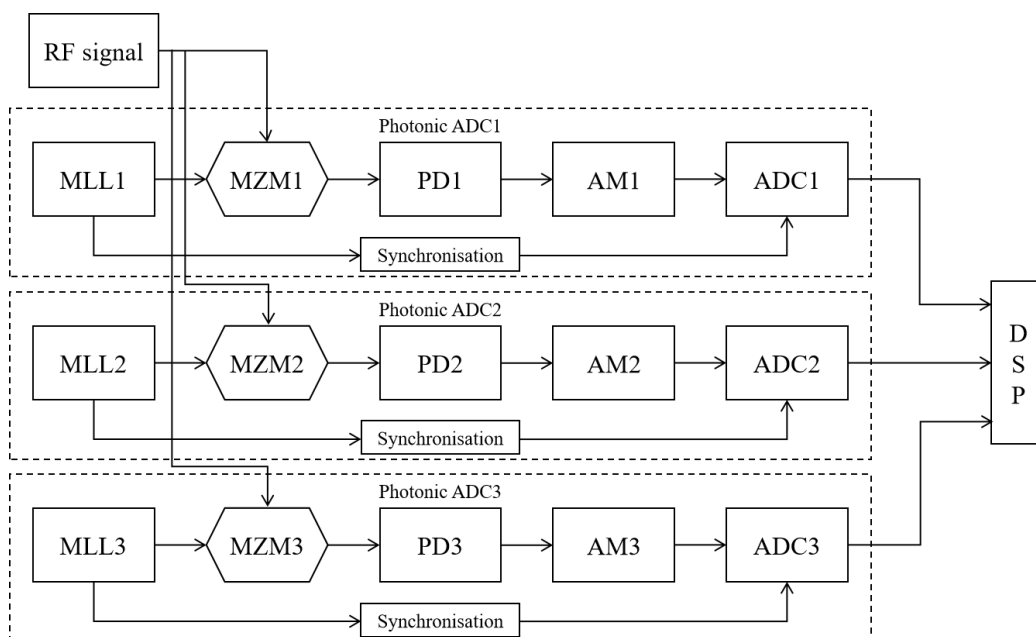


Figure 1 – Block-scheme of the proposed frequency measurement method

The proposed microwave frequency measurement scheme is related to photonic sampling with electronic quantization group. It consists of three branches, and each of them based on so called photonic ADCs (Fig. 1). The operation principle can be explained as follows. As an example, for each branch, the first photonic ADC (i.e., which consists of MLL1, MZM1, AM1, PD1 and ADC1 accordingly) will be taken. We can say that it performs an optical sampling due to operating in the visible frequency range. So, for the first step of an explication, the frequency spectrum of MLL1 might be written as:

$$S_{MLL1}(f) = \sum_{n=-N}^N p_n \delta(f \pm f_c \pm nf_1) \quad (1)$$

where  $\delta(x)$  is the unit impulse function,  $f_c$  and  $f_1$  are the central frequency and repetition rate of MLL1, respectively,  $p_n$  is the Fourier expansion coefficient of the pulse sequence generated by MLL1, and  $n$  is an integer number that defined by the spectral width of MLL1.

Due to the ultra-short duration of the output optical pulses from MLL1, whose spectral width is very large (generally multi- or multi-tens of nm),  $N$  is huge enough to ensure that  $2Nf_1$  can embrace a frequency range of at least hundreds or even thousands of GHz. This wide spectrum quantity assures the bandpass sampling (namely, down-converted sampling) of a high-frequency microwave signal in a chain with the following MZM1 and PD1. For simplicity of the analysis, as an example a single-tone RF signal is taken to be the input of MZM1, and its frequency spectrum can be expressed as:

$$S_{sig}(f) = \delta(f + f_s) + \delta(f - f_s) \quad (2)$$

in the equation above  $f_s$  is the frequency of the input RF signal to be determined by overall scheme performance.

By virtue of the wide spectrum bandwidth of an electro-optic MZM (e.g., the high-quality lithium-niobate modulators can guarantee the bandwidth even more than 100 GHz) and the very low jitter of ultra-short pulses (in general, lower than 25 fs) that can be generated by hybrid MLL, the input RF signal in a wide frequency range might be optically sampled with a great accuracy.

Due to the fact that MZM1 is fed at the quadrature point and operating under the condition of small signal modulation, the frequency spectrum of the resulting optical pulses can be determined as:

$$\begin{aligned} S_{SAM1}(f) &= \frac{1}{2} S_{MLL1}(f) \otimes [\delta(f) + mS_{sig}(f)] = \\ &= \frac{1}{2} \sum_{n=-N}^N p_n [\delta(f \pm f_c \pm nf_1) + m\pi\delta(f \pm f_c \pm nf_1) \pm f_s] \end{aligned} \quad (3)$$

where  $m$  is the modulation index of an MZM1. The high-order spectrum components have been neglected in the Eq. 3 because they can have no involvement in the

frequency measurement. Moreover, these high-order harmonics should be doubtlessly suppressed to evade ambiguous frequency recovery misjudgment, that can occur and interfere with normal work.

Next, the modulated optical pulse train is transferred to PD1, where optical heterodyne mix is happening. The occurred frequency harmonics in the RF frequency range can be represented by following equation:

$$S_{PD1}(f) = \frac{1}{2} \sum_{n=-2N}^{2N} [D_n \delta(f - nf_1) + E_n(f - nf_1 + f_s) + E_n(f - nf_1 - f_s) + \dots] \quad (4)$$

in this case  $D_n$  and  $E_n$  are the amplitude coefficients of the respective frequency components. It can be obviously seen from the Eq. 4 that the input signal which has a high frequency of  $f_s$  has been duplicated to numerous copies, and there must be a duplicate that can fall into the baseband (within the operation bandwidth of PD1) due to the large diapason of  $nf_1$ .

Finally, the output electronic signal from PD1 is transmitted to the conventional ADC1 that is in synchronization with MLL1, where the signal after down-conversion sampling is quantized. Because the first photonic ADC operates with a clock rate of  $f_1$  that clearly denoted by the pulse train repetition rate, its sampling rate and instantaneous bandwidth are  $f_1$  and  $f_1/2$ , respectively, which will be attainable for any electronic ADC. Thus, there must be a frequency copy of the initial microwave signal that can occur into this instantaneous bandwidth of the first photonic ADC. Then Fourier frequency of this signal duplicate can be calculated by using FFT of the output digital signal from an electronic ADC1 in the end of the brunch.

Thanks to the periodic nature of bandpass sampling, the calculated Fourier frequency  $f_{F1}$  may represent all possible variations of the caused by initial input RF frequency:

$$f_{F1} = \begin{cases} f_{s1} - n_1 f_1; & \text{rem}(f_{s1}/f_1) \leq f_{s1}/2 \\ (n_1 + 1)f_1 - f_{s1}; & \text{rem}(f_{s1}/f_1) > f_{s1}/2 \end{cases} \quad (5)$$

where  $n_1$  is a natural integer number that should be find in order to correctly determine the desired RF harmonic, and function  $rem(x)$  is representing the reminder of  $x$  value. Therefore, all the potential input RF initial possibilities  $f_{s1}$  can be calculated by using following conditions:

$$f_{s1} = \begin{cases} n_1 f_1 + f_{F1}; & \text{rem}(f_{s1}/f_1) \leq f_{s1}/2 \\ (n_1 + 1)f_1 - f_{F1}; & \text{rem}(f_{s1}/f_1) > f_{s1}/2 \end{cases} \quad (6)$$

The working principle of the other two photonic ADCs are absolutely the same as that of the first one explained above. Hence, all the potential RF inputs can also be calculated from the other two ADCs that also perform optical sampling by expressions:



$$f_{s2} = \begin{cases} n_2 f_2 + f_{F2}; & \text{rem}(f_{s2}/f_2) \leq f_{s2}/2 \\ (n_2 + 1)f_2 - f_{F2}; & \text{rem}(f_{s2}/f_2) > f_{s2}/2 \end{cases} \quad (7)$$

$$f_{s3} = \begin{cases} n_3 f_3 + f_{F3}; & \text{rem}(f_{s3}/f_3) \leq f_{s3}/2 \\ (n_3 + 1)f_3 - f_{F3}; & \text{rem}(f_{s3}/f_3) > f_{s3}/2 \end{cases} \quad (8)$$

where  $f_2$  and  $f_3$  are the pulse train repetition rates of MLL2 and MLL3, accordingly. Next,  $f_{F2}$  and  $f_{F3}$  are the calculated Fourier frequencies of the second and the third photonic ADCs, respectively. As for  $f_{s2}$  and  $f_{s3}$  these are the potential input RF harmonics calculated from the second and the third ADCs that perform optical sampling. Lastly,  $n_2$  and  $n_3$  are natural integers numbers that should be determined.

In the proper frequency range of operation, the three natural numbers  $n_1$ ,  $n_2$ , and  $n_3$  can be calculated easily and the final decision of initial frequency value will be result of  $f_{sn}$  that should be computed by using the frequency recovery algorithm according to the following relation:

$$f_{sn} = f_1 = f_2 = f_3 \quad (5)$$

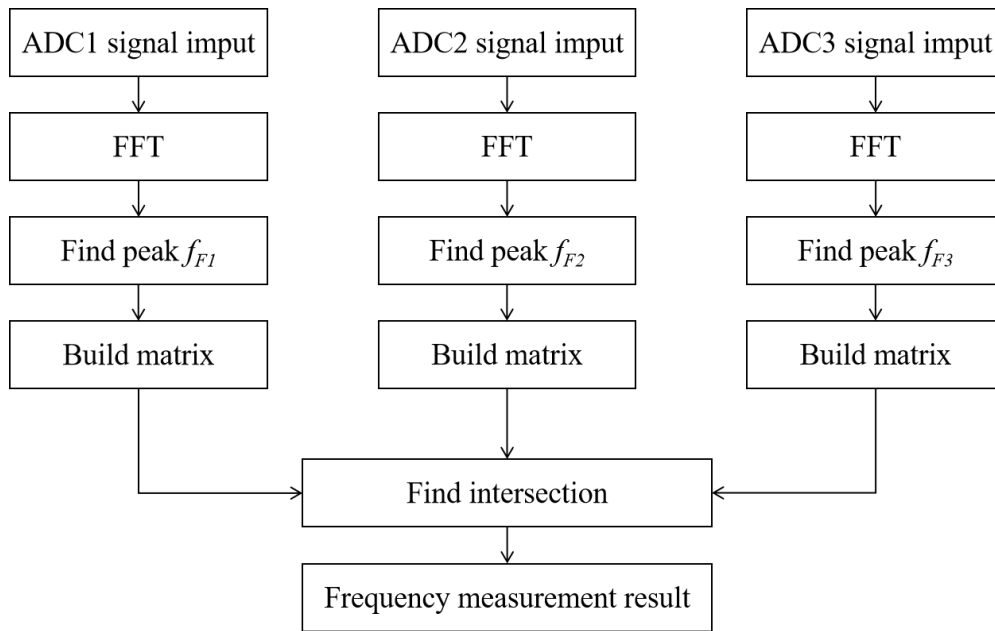


Figure 2 – The flow chart of the frequency recovery algorithm

Basically, the operation of the frequency recovery can be described in detail as follows (Fig. 2). First, the data flows from the outputs of three photonic ADCs are transformed to the frequency domain by using Fast Fourier Transform (FFT), and the peaks that surpasses the certain threshold (i.e., the Fourier frequencies) should be found. Also the threshold must be chosen as the higher one between the noise floor and the high-order components, where the noise floor is defined by the quantization step, a jitter of the sampling time and the frequency resolution of FFT, whereas the high-order harmonics are relied on the modulation index, the drift of bias voltage, and the non-ideal frequency response of the MZM elements.

Secondly, after receiving of the computed Fourier frequencies, three matrices that consist of the all-potential input frequencies are calculated according to the Eqs. 6, 7, and 8. If we take the first photonic ADC as an example, the possible inputs can be determined based  $f_{F1}$  on  $f_1$  and that then store in the matrix of  $[f_{F1}, f_1 + f_{F1}, 2f_1 + f_{F1}, \dots (q_1 - 1)f_1 + f_{F1}, f_1 - f_{F1}, 2f_1 - f_{F1}, \dots q_1f_1 - f_{F1}]$ , in this case  $q_1$  is a natural integer number that equals to the frequency measurement range related to  $f_1$  of an MLL. Therefore, a vector  $N_1$  consists of  $[0; q_1 - 1]$  elements, can be built to make simple the expression of the matrix, that now can be written as  $[N_1f_1 + f_{F1}, (N_1 + 1)f_1 - f_{F1}]$  and be named as matrix  $A_1$ . In the same way, the matrices  $A_2$  and  $A_3$  that consist of all-potential frequency imputes for photonic ADC2 and photonic ADC3 that perform optical sampling can also be obtained. In conclusion, the input frequency can be determined by calculating the average value of the intersection point of the three pre-defined matrices  $A_1, A_2,$  and  $A_3$ , which will be the desired microwave signal.

However, it worth to mention that the intersection point can be found accurately from  $A_1, A_2,$  and  $A_3$  only in ideal conditions, in other words, without a drift of the sampling rate and with the frequency resolution strives for infinity. Meanwhile, the intersection point of the three matrices can also be an empty value, because there measurement errors can occur that caused by both disadvantages mentioned above and absence of signal.

Therefore, thirdly, before calculating the intersection point of the three matrices, the significant digit of the initial input frequency must be pre-defined according to the measurement accuracy, which satisfies conditions of the task. To be more concrete, assurance of the Fourier frequencies should aim to the last bit of the significant digit of the matrices. Hence, there is a demand for three more new matrices, namely  $B_1, B_2,$  and  $B_3$  that should be taken to represent the corresponding matrices  $A_1, A_2,$  and  $A_3$  after setting the significant digit.

As fourth step, for the matrices  $B_1, B_2,$  and  $B_3$  the intersection point that has to exist should be found and then location of them should be detected in each matrix. By using these locations in the corresponding original matrices  $A_1, A_2,$  and  $A_3$ .

Finally, the initial frequency value should be determined through simple averaging of the three recovered frequencies from the original matrices  $A_1, A_2,$  and  $A_3$  after the matching the positions.

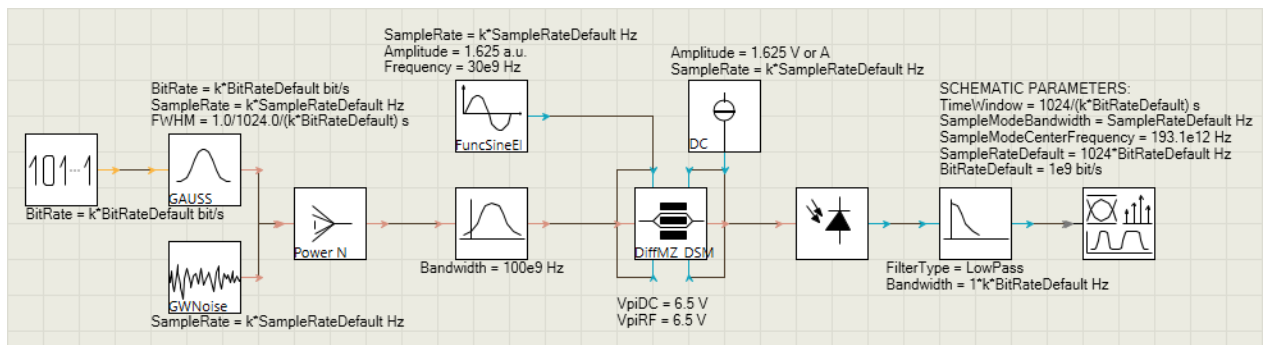


Figure 3 – Overall frequency measurement method scheme built in VPI

The constructed model (Fig. 3) can completely simulate the presence of three parallel branches of photonic ADCs for the single-tone microwave signal frequency measurement to start.

The simulation takes photonic samplings one by one using the built-in function of swipe simulations (the parameter  $k$  was pre-defined as a vector), in other words, this mechanics made it possible to carry out simulations of each photonic ADC in the row, while saving its results in a memory buffer. The numerical data with 15 digits after the comma received in the end of simulation is converted into the Excel files for fast reading in Matlab, where firstly the FFT is implemented in order to obtain electrical spectra for the further processing by the frequency recovery algorithm.

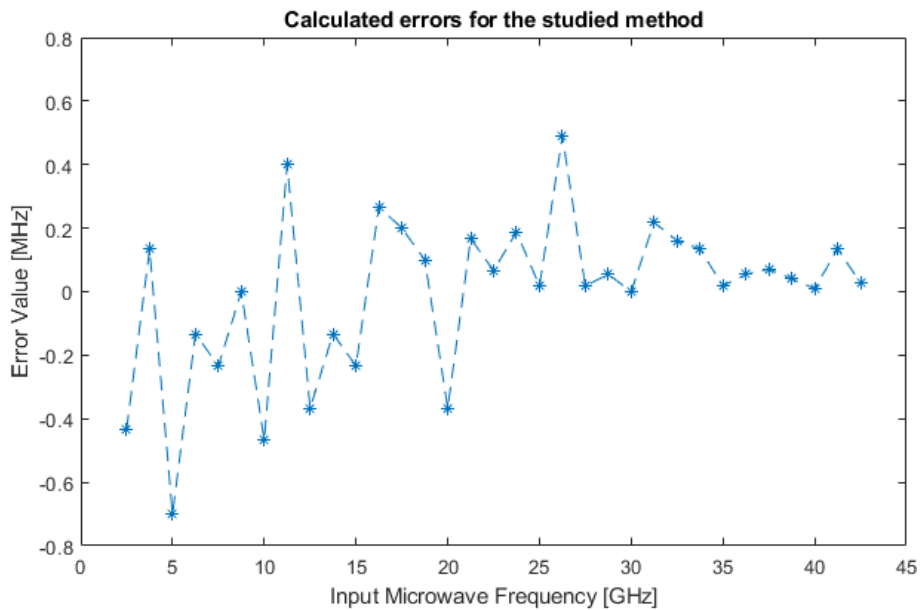


Figure 4 – Error spread graph

Frequency measurement error for an input single-tone microwave signal was estimated (Fig. 4) with its frequency diapason from 2.5 GHz to 42.5 GHz and a step of 2.5 GHz. As the result, it can be clearly seen that the measurement error for the recovered frequency is well confined in the range of  $\pm 0.5$  MHz almost at every evaluation point.

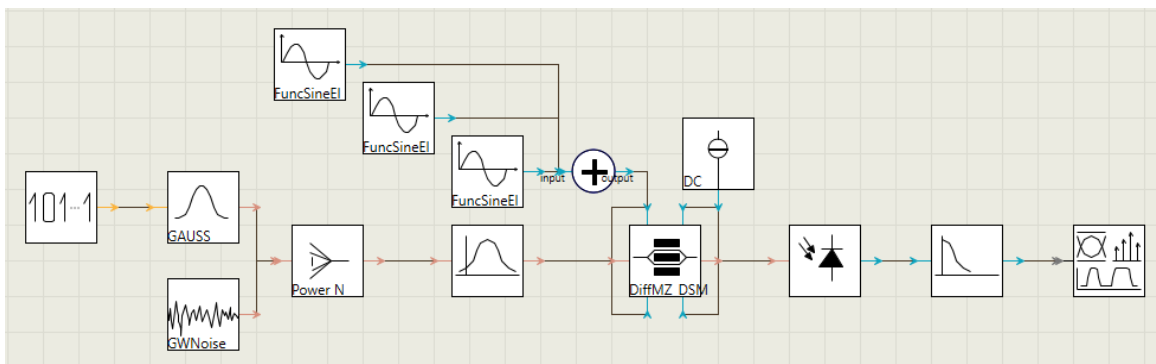


Figure 5 – Simulated scheme in VPI for multi-tone case

Then simulations were focused on the multi-tone signals measurements. As a microwave input, I constructed three-tone signal by using the adder block. In other words, it consists of 3 MHz, 25 MHz and 40 MHz harmonics with similar power. Other scheme elements the same as for single-tone case (Fig. 5).

Thus, the Table 1 above represents the main computation results of the overall scheme utilization. Also, it worth to mention that in the multi-tone case the same frequency recovery algorithm in Matlab has been used.

Table 1. Multi-tone signal frequency measurement results

Frequency of input signal, GHz	3	25	40
Fourier frequency positions from PD1, MHz	14.7361	124.7654	200.4106
Fourier frequency positions from PD2, MHz	29.6188	249.7849	400.8407
Fourier frequency positions from PD3, MHz	44.6481	375.0442	415.7234
Frequency possibilities of photonic ADC1, GHz	3.0003	25.0002	39.9996
Frequency possibilities of photonic ADC2, GHz	3.0004	25.0002	39.9992
Frequency possibilities of photonic ADC3, GHz	3.0004	25.0000	40.0007
Averaged measurement results, GHz	3.0004	25.0001	39.9998

Thus, based on obtained performance, we can say that photonic parallel low-speed sampling frequency measurement method might correctly determine multi-tone input microwave signals. It worth to mention that an accuracy estimation did not carry out due to the obvious unimportance, because the received error results will be the same as in the single-tone case.

It worth to mention that according to simulations the frequency measurement range mainly relying on the operation bandwidth of MZM. Thus, it can be expanded by using new available construction technologies of MZM. Moreover, the frequency measurement resolution can be also greatly enhanced by rising the number of sampling points used in FFT algorithm calculation.

Nevertheless, the cost must be paid for this resolution improvement, namely it is decrease of the measuring speed, because of the fact that the frequency determination accuracy of the FFT calculation is inverse proportional to the computational time.

## REFERENCES

1. *Lippman A.* The new age of wireless / Lippman A. // Scientific American, 2006, 295(4).
2. *Rihaczek August W.* Principles of high-resolution radar / Rihaczek August W. // Artech House, 1969.
3. *J. B. Tsui.* Microwave Receivers with Electronic / J. B. Tsui. // Warfare Applications. Wiley, 1986.
4. *Valley G. C.* Photonic analog-to-digital converters / Valley G. C. // Optics Express, 2007, 15(5): 1994-1982.
5. *Ioakeimidi K.* Photoelectronic analog-to-digital conversion: sampling and quantizing at 100 Gs/s / K. Ioakeimidi, R.F. Leheny, S. Gradinaru, et al. // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2005, 53(1): 336-342.
6. *Juodawlkis P.W.* Optically sampled analog-to-digital converters / P.W. Juodawlkis, J.C. Twichell, G.E. Betts, et al. // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2001, 49(10): 1840-1853.

7. Pala C. A high-speed electro-optical analog-to-digital converter principle / C. Pala, L. Thylen, M. Mokhtari, et al. // The 2001 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2001, 1: 431-435.

8. Stigwall J. Analysis of the resolution-bandwidth-noise trade-off in wavelength-based photonic analog-to-digital converters. / J. Stigwall, S. Galt. // Appl. Opt., 2006, 45: 4310-4318.

**УДК 629.7**

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИБКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА С ПОМОЩЬЮ УСЛОВНЫХ МАРШРУТОВ**

Чудинова Е. Д.

Лашманов С. В.  
(научный руководитель)

*Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева  
(г. Ульяновск)*

**Аннотация.** Настоящая статья посвящена актуальному вопросу в сфере Гражданской Авиации, а именно – повышению эффективности использования воздушного пространства через внедрение условных маршрутов. В наше время количество авиакомпаний по всему миру стремительно увеличивается, что ведет к увеличению числа воздушных судов и интенсивности воздушного движения. Внедрение условных маршрутов позволяет пилотам гибко корректировать траектории своих полетов в режиме реального времени, чтобы избежать неблагоприятные погодные условия, заторы и другие неожиданные ситуации. Благодаря такой гибкости возможно серьезное сокращение задержек рейсов и повышение общей эффективности полетов.

**Ключевые слова:** FUA, CDR, воздушное пространство, условные маршруты, эффективность, безопасность.

В России и по всему миру с каждым годом все больше и больше людей преодолевают воздушное пространство. Пассажиропоток растет, авиакомпании увеличивают свой парк воздушных судов. Авиация предлагает возможность быстро и относительно недорого добраться в любую точку мира, и это приводит к появлению все большего количества самолетов в небе. Каждый год происходит внедрение новых технологий в управление воздушным пространством с целью оптимизации воздушных перевозок. Одной из таких инноваций является использование условных маршрутов.

Условный маршрут (CDR) – это непостоянный маршрут ОВД или его часть, которые могут быть спланированы и использованы при определенных условиях. Свойства CDR, включая их категории, выравнивание, обозначение маршрута и доступность для планирования полета, публикуются в национальном AIP. Ответственность за принятие решения о том, требуется ли уведомление AIS (например, NOTAM) в качестве дополнительной публикации, остается за государством [1].

Условные маршруты дополняют сеть постоянных маршрутов ОВД и подразделяются на 3 категории:

CDR1 – постоянно планируемый условный маршрут. Доступен для планирования полетов во время, указанное в соответствующем Издании аэронавигационной информации (AIP).

CDR2 – не постоянно планируемый условный маршрут. Эти маршруты могут быть доступны для планирования полета. Рейсы могут быть запланированы только на CDR2 в соответствии с условиями, ежедневно публикуемыми в сообщении об условной доступности маршрута.

CDR3 – маршруты недоступны для планирования полета. Полеты по этим маршрутам не должны планироваться, но подразделения УВД могут выдавать тактические разрешения на таких участках маршрута.

Условные маршруты являются элементами единой концепции гибкого использования воздушного пространства (FUA – Flexible use of airspace) [2].

FUA – это концепция управления воздушным пространством, основанная на идее его всестороннего использования. Предназначенная для удовлетворения потребностей всех пользователей. Вместо того, чтобы ограничивать его использование и выделять определенные зоны для гражданского или военного использования, FUA предлагает взглянуть на воздушное пространство как на непрерывное пространство, объединяющее все виды потребностей.

Одной из основных идей концепции является избегание жесткого разделения воздушного пространства на опасные, ограниченные или запрещенные зоны, которые могут приводить к неэффективному использованию ресурсов. Вместо этого FUA продвигает идею единого континуума, в котором все требования пользователей принимаются во внимание и удовлетворяются в максимально возможной степени.

Концепция FUA была представлена в марте 1996 года совместными усилиями представителей гражданских и военных организаций государств-членов ЕСАС, а также эксплуатантов воздушных судов. Она представляет собой основу для усовершенствования управления воздушным пространством и позволяет найти баланс между потребностями различных пользователей, обеспечивая эффективное и безопасное использование воздушного пространства.

Концепция FUA была разработана на трех уровнях управления воздушным пространством, которые соответствуют задачам гражданской / военной координации. Каждый уровень управления воздушным пространством влияет на другие:

- Уровень 1 – Стратегический – определение национальной политики в области воздушного пространства и создание заранее определенных структур воздушного пространства;
- Уровень 2 – Предтактический – ежедневное распределение воздушного пространства в соответствии с требованиями пользователя;
- Уровень 3 – Tактический – использование воздушного пространства в режиме реального времени, обеспечивающее безопасное оперативное воздушное движение и общее воздушное движение.

CDR могут быть созданы на стратегическом этапе FUA:

1. Через зоны потенциального временного резервирования (например, трассы, зоны управляемой опасности и запретные зоны), с условиями открытия и закрытия, возникающими в результате связанных с ними военных действий;

2. Учитывать конкретные условия УВД (например, ограничения движения или совместимость с секторированием УВД) с условиями открытия и закрытия, вытекающими из чисто гражданских потребностей.

Поставщики услуг ОВД должны принимать соответствующие меры по смягчению последствий, чтобы гарантировать, что планы полетов не будут приняты, если они включают недоступные CDR. Пример информации об условных маршрутах (Рисунок 1) [2]

JEPPESEN		ENROUTE		E-525	
FLEXIBLE USE OF AIRSPACE CONDITIONAL ROUTES - EUROPE					
GERMANY					
AWY	AWY SEGMENT	CDR CAT	CDR FL BLOCK	VALIDITY PERIOD	ALTERNATE ROUTING & REMARKS
G5	DLE - AGATI	1	160 and below	FRI 1700 (1600) - MON 0500 (0400)	
		2	160 and below	Other times	To avoid ED(R)-31 and/or ED(R)-32 A/B alternate route: a. via NIE-N850/T901 b. via DLE-Z113
G21	SBN - MAKOT	1	100 - 240	FRI 1700 (1600) - MON 0700 (0600); MON - THU 2300 (2200) - 0000 (2300); TUE - FRI 0000 (2300) - 0600 (0500) & HOL	
L604	RUDNO - MOOCE	1	100 - 245	H24	Rerouting by ATC if ED(R)-TRA210 A is active
L610	MAMOR - UPALA	1	75 - 155	H24	Rerouting by ATC if ED(R)-144 and/or ED(R)-TRA 120 B is/are active
L619	VIBIS - RADEL	1	100 - 240	H24	To avoid Mil Exercise Areas radar vectoring on ATC instructions
L620	SULED - BESIP	1	100 - 240	FRI 1100 (1000) - MON 0700 (0600); Every night 2300 (2200) - 0600 (0500)	
		2	100 - 240	Other times	Z21
M44	ARGAD - SALLO	1	220 - 240	H24	
M150	PITES - KRH	1		FRI 1700 (1600) - MON 0700 (0600); Every night 2300 (2200) - 0600 (0500)	
M602	USEDU - BANKU	1	220 - 240	H24	
M725	BANKU - MASOR	1	220 - 240	H24	
	MASOR - RODEP	1	100 - 240	H24	To avoid Mil Exercise Areas radar vectoring on ATC instructions
M726	NOBRI - SULIV	1	80 - 240	H24	
M736	SALLO - PEROM	1	220 - 240	H24	
	PEROM - INDOK	1	80 - 240	H24	To avoid Mil Exercise Areas radar vectoring on ATC instructions
M864	UNGAV - NONSA	1	70 and above	H24	To avoid ED(D)-47 radar vectoring on ATC instructions (via BAKLI)
	NONSA - PEROM	1	220 - 240	H24	
	PEROM - PABMI	1	80 - 240	H24	To avoid Mil Exercise Areas radar vectoring on ATC instructions

Рисунок 1 – Пример информации об условных маршрутах из сборника Jeppesen.  
Источник: <https://studfile.net/preview/14536802/page:16/>



В соответствии с их предполагаемой доступностью, возможностями планирования полетов и ожидаемым уровнем активности в связанные с резервированием воздушного пространства CDR можно разделить на следующие категории (Рисунок 2):

- CDR категории 1 (CDR1): Постоянно планируемые.
- CDR категории 2 (CDR2): Не подлежат постоянному планированию.
- CDR категории 3 (CDR): Не подлежат планированию.

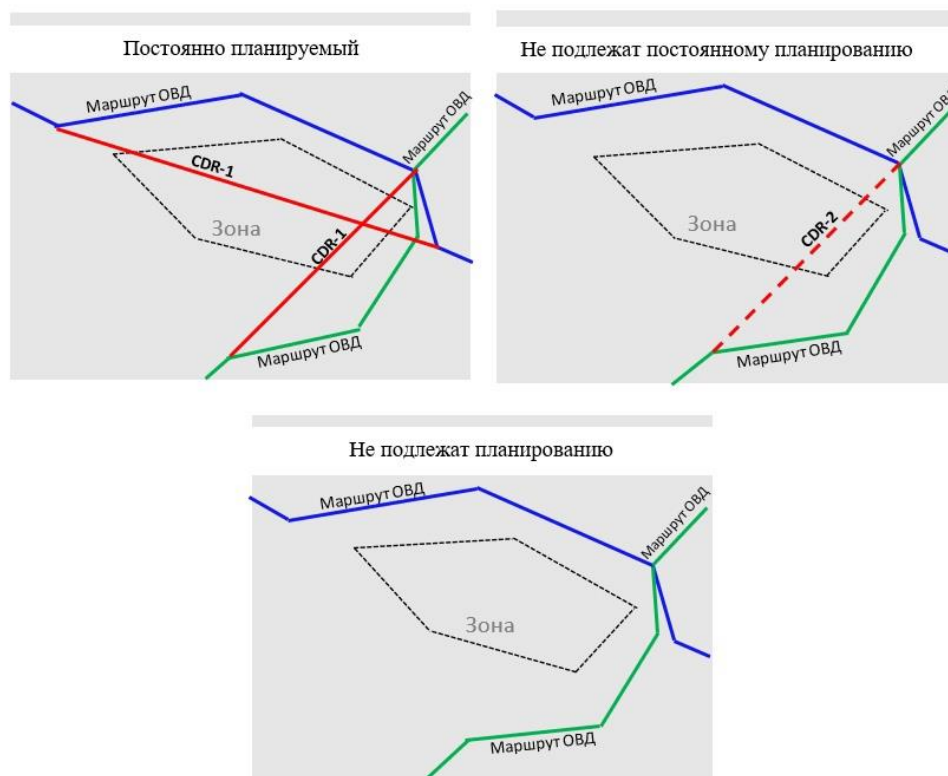


Рисунок 2 – Категории условных маршрутов

CDRs категории 1 доступен для планирования полетов в периоды, опубликованные в AIP. Если ожидается, что CDR будет доступен большую часть времени, его следует объявить постоянно планируемым на указанные периоды времени и опубликовать как CDR категории 1 в AIPs. CDR категории 1 может устанавливаться либо на 24-часовой основе, либо на фиксированные периоды времени, либо на фиксированных диапазонах эшелонов полета.

Отсутствие CDR1, не влияющее на планирование полета, может быть рассмотрено тактически, когда это уместно. В случае заявленной недоступности CDRS категории 1 для планирования полета может быть предоставлено тактическое использование на основе определенных процедур тактической координации между ответственными ОВД и/или контролирующими воинскими подразделениями, когда это применимо.

Для достижения ожидаемой динамичности необходимо обеспечить наличие или отсутствие CDR1 и CDR2, обычно уведомляется за день до операции путем уведомления соответствующих заинтересованных сторон о



распределении воздушного пространства в день операции посредством плана использования воздушного пространства. Ответственность за принятие решения о том, требуется ли уведомление AIS (например, NOTAM) в качестве дополнительной публикации, остается за государством. Если публикуется дополнительное уведомление AIS, государства несут ответственность за обеспечение согласованности между соответствующими публикациями (например, NOTAM и планом использования воздушного пространства/обновленным планом использования воздушного пространства).

CDR категории 2 могут быть доступны для планирования полета. Полеты могут планироваться только на CDR2 в соответствии с условиями, ежедневно публикуемыми в плане использования воздушного пространства и обновляемом плане использования воздушного пространства.

Данная категория является частью predetermined сценариев маршрутизации в зависимости от распределения соответствующего воздушного пространства специального назначения или для решения конкретных условий управления воздушным движением. Наличие CDR2 может быть запрошено для корректировки транспортного потока, когда выявлен дефицит пропускной способности и после рассмотрения соответствующих факторов соответствующими подразделениями ОВД. Если они недоступны в соответствии с планом использования воздушного пространства или обновленным планом использования воздушного пространства, CDR категории 2 также могут управляться тактически, когда условия позволяют использовать их в короткие сроки, при условии превентивной координации между ответственными ОВД и/или контролирующими воинскими подразделениями.

Как следствие вышеописанного, условные маршруты могут быть особенно выгодны для полетов, выполняемых в районах с ограниченной пропускной способностью воздушного пространства, таких как оживленные аэропорты или перегруженные воздушные пространства. Позволяя пилотам отклоняться от запланированных маршрутов, эти маршруты могут помочь распределить воздушное движение и уменьшить заторы, тем самым повышая безопасность и эффективность. Использование условных маршрутов поддерживается передовыми навигационными и коммуникационными технологиями. Системы GPS и данные о погоде в режиме реального времени позволяют пилотам и авиадиспетчерам быстро определять подходящие условные маршруты и сообщать о необходимых изменениях в планах полетов. Это обеспечивает точный и своевременный обмен информацией, сводя к минимуму вероятность недоразумений или конфликтов.

Однако важно отметить, что эффективность условных маршрутов в значительной степени зависит от эффективной инфраструктуры, надлежащей подготовки пилотов и авиадиспетчеров и эффективного обмена данными. Кроме того, в определенных регионах или в часы пик могут существовать ограничения, когда условные маршруты могут быть недоступны из-за ограничений воздушного пространства или других эксплуатационных факторов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ICAO Doc 9284 Manual on Civil-Military Cooperation in Air Traffic Management // [Электронный ресурс]. – 2020. URL: [https://www.icao.int/WACAF/Documents/Meetings/2021/Civ-mil/10088\\_unedited\\_en\\_Manual%20on%20Civil-Military%20Cooperation%20in%20Air%20Traffic%20Management.pdf](https://www.icao.int/WACAF/Documents/Meetings/2021/Civ-mil/10088_unedited_en_Manual%20on%20Civil-Military%20Cooperation%20in%20Air%20Traffic%20Management.pdf) (дата обращения: 10.11.2023)
2. Flexible use of airspace // [Электронный ресурс]. – URL: <https://skybrary.aero/articles/flexible-use-airspace> (дата обращения: 01.11.2023)
3. Аэронавигация в международных полетах // [Электронный ресурс]. – 2014. URL: <https://studfile.net/preview/14536802/page:16/> (дата обращения: 05.11.2023)

### УДК 621.37

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ LDACS 1

Эммерих К. Р.

Межетов М. А., канд. физ.-мат. наук  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** Обеспечение высокоскоростной системой передачи данных воздушных судов, находящихся на заданных маршрутах полёта, является на сегодняшний день одной из важнейших задач. Существующие авиационные каналы передачи информации не обеспечивают высокой скорости обмена данными, или если и обеспечивают, то используют для этого спутниковые каналы передачи, которые очень дорого обходятся потребителю. Выходом в данном случае может стать развёртывание сети наземных станций, обеспечивающих непрерывный обмен данными по линии «самолёт-земля-самолёт». Это даст возможность передачи огромного количества информации с борта воздушного судна на наземные станции приёма сигналов и обеспечит непрерывный мониторинг сигналов технической диагностики в специализированных центрах обработки данных. На сегодняшний день разрабатываются новые приёмо-передающие информационные системы LDACS-1, LDACS-2. Эти системы должны обеспечить высокоскоростную передачу информации. Увеличению пропускной способности системы LDACS-1 посвящена данная статья.

**Ключевые слова.** ACARS, VDL-1, VDL-2, VDL-3 и VDL-4; LDACS-1, LDACS-2; OFDM.

Быстро изменяющаяся экономическая ситуация в мире, растущая конкуренция на рынке воздушных перевозок вынуждают искать пути повышения эффективности использования авиационного транспорта. В условиях значительного роста объема перевозок и интенсивности воздушного движения повышение эффективности авиатранспорта должно основываться на более рациональном построении системы управления воздушным движением, а также оснащении воздушных судов современным комплексом бортового радиоэлектронного оборудования.

Надежная связь и устойчивый обмен информации между воздушным судном и системами управления воздушным движением жизненно важны для авиации. Обеспечение надежности и устойчивости связи является одной из приоритетных задач в сложившихся условиях развития гражданской авиации. Выполнение этих требований возможно осуществить, применяя инновационные способы и методы передачи информации по линии «самолёт-земля-самолёт».

Объём информации, передаваемой по авиационным линиям связи, будет неуклонно расти. И связано это с тем, что происходит постоянный количественный прирост воздушных судов, одновременно находящихся в воздухе. Одним из направлений совершенствования систем передачи данных является применение цифрового формирования и приёма сигналов в системах связи воздушных судов. Применение усовершенствованных систем позволит существенно увеличить пропускную способность канала передачи информации, обеспечивая повышенную надёжность и качество передаваемой информации. При этом возникает задача наиболее эффективно использовать выделенный частотный ресурс, а это возможно, применяя спектрально эффективные способы модуляции, позволяющие рационально использовать выделенные ресурсы и способные адаптивно распределять цифровые потоки в участках спектра свободных от помеховых воздействий.

Той скорости, которая уже существует, недостаточно, чтобы удовлетворить возрастающие потребности авиакомпаний по передаче служебной и коммерческой информации. В настоящее время существует несколько видов систем передачи данных ОВЧ диапазона, основные характеристики которых представлены в таблице 1.

Проводя анализ данных, представленных в таблице, можно сделать вывод о том, что существующие системы передачи данных не обеспечивают высокоскоростной передачи данных по линии «самолёт-земля-самолёт», что делает невозможным оперативный обмен увеличивающегося потока информации в режиме реального времени. Такие системы могут обеспечивать лишь минимально потребный трафик, который покрывает лишь незначительную часть потребности от необходимой. При этом для авиакомпаний практически всегда существует упущенная выгода от пассажиров самолёта, которые могли бы за дополнительную плату пользоваться интернет контентом на борту самолёта.

На современном этапе развития проводятся исследования по переходу от аналоговых авиационных линий связи к цифровым, которые обладают высокой спектральной эффективностью, за счет использования цифровых способов формирования и приёма информации. Для эффективной работы таких систем требуется широкополосный канал, который невозможно выделить в метровом диапазоне волн. Поэтому перспективные авиационные каналы передачи данных будут использовать L-диапазон. В настоящее время этот участок спектра используется для наземной и спутниковой радиосвязи. По определению IEEE (Институт инженеров электротехники и электроники), этот диапазон лежит в пределах от 1 до 2 ГГц. Для работы в этом частотном диапазоне заявлены две новые системы передачи данных LDACS-1 и LDACS-2, которые будут занимать полосу частот 960-1164 МГц.

Таблица 1

	ACARS	VDL-2	VDL-3	VDL-4
Голосовая связь	Нет	Нет	Да	Нет
Цифровая информация	Да	Да	Да	Да
Требуемый спектр	25 кГц	25 кГц	25 кГц	25 кГц
Скорость передачи данных	2,4 кбит/с	31,5 кбит/с	31,5 кбит/с	19,2 кбит/с
Спецификация протокола	Символьно-ориентированный	Бит-ориентированный, возможна обработка символьно-ориентированного сообщения при меньшей ширине полосы	Бит-ориентированный	Бит-ориентированный
Канал связи	Воздух-земля	Воздух-земля	Воздух-земля	Воздух-земля и воздух-воздух
Управление доступом к среде	Коллективный доступ с контролем несущей	Коллективный доступ с контролем несущей	Коллективный доступ с разделением времени	Самоорганизующийся коллективный доступ с разделением времени
Приложения	Связь оперативного управления и услуг ВД (служба информации аэропорта, линия связи диспетчер-пилот)	Поддерживает связь на линии диспетчер-пилот, метеослужбы	Цифровая голосовая связь и передача данных. Поддерживает 4 подканала при одном 25 кГц канале	Поддерживает связь, метеослужбы, АЗН-В, услуги информирования о ВД, спутниковая навигация

LDACS (L-band Digital Aeronautical Communication System) – система цифровой воздушной связи в L-диапазоне. Планируется, что LDACS будет обеспечивать реализацию перспективных возможностей линии передачи данных «воздух – земля», которые невозможно реализовать в полосе частот диапазона ОБЧ в режиме VDL-2, VDL-4. Одной из задач системы передачи информации LDACS является обеспечение передачи данных по линии «самолёт-земля-самолёт».

LDACS-1 – первая система передачи информации в L-диапазоне. Осуществляет широкополосную передачу, используя в своей работе мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов [1] (OFDM – англ. Orthogonal frequency-division multiplexing). Ширина спектра канала 500 кГц для прямой и 500кГц для обратной линии связи, с использованием дуплексной передачи. Разделение каналов частотное FDD

(Frequency-Division Duplex). Каждая поднесущая модулируется своим сигнальным созвездием BPSK, QPSK, 16-QAM или 64-QAM в зависимости от качества канала, кодирование сверточное с перемежением и/или турбокодирование. Прототипами системы являются системы связи В-АМС, Р34, IEEE 802.16m (WiMAX 2009).

LDACS-2 – вторая система передачи информации в L-диапазоне. Отличается от первой способом организации связи, применяется полудуплексная передача с разделением по времени (TDD – англ. Time-Division Duplex). Пропускная способность канала 200 кГц, модуляция GMSK [2] – двухпозиционная с минимальным частотным сдвигом, непрерывной фазой, с индексом модуляции  $h = 0,5$ , с предварительной гауссовской фильтрацией. Прототипом системы выступила сеть второго поколения – GSM.

Перспективы развития системы LDACS-1 хорошо просматриваются в концепции развития сетей четвертого и пятого поколения, которые в своем развитии идут по пути использования нескольких частотных ресурсов в пределах одной базы. Такая технология получила название LTE-A. Или использование множества базовых станций, которые параллельно передают массив данных на абонентское устройство. Такая технология получила название MIMO или способ передачи данных на базе многоантенных систем.

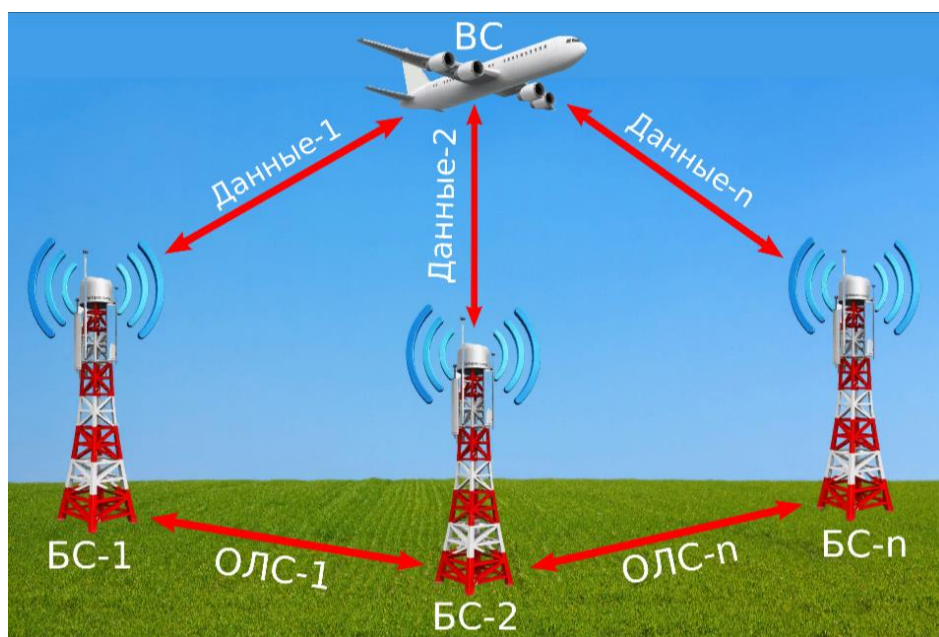


Рисунок 1 – Технология многоантенных систем

На рисунке 1 представлена концепция многоантенных систем. Идея такого подхода заключается в том, что бортовое приёмопередающее оборудование работает не с одной базовой наземной станцией, а с несколькими. Такая технология позволит увеличить пропускную способность канала связи за счет распараллеливания потоков информации между БС-1---БС-n. Чем больше БС будет на земле, тем выше будет пропускная способность канала информации, тем больше информации будет передано с борта и на борт

воздушного судна. Такая топология позволит увеличить живучесть системы передачи информации за счет того, что при выходе из строя одной БС, другие остаются работоспособными и позволят перераспределить потоки информации между собой. Для межстанционной передачи информации в таких системах необходимо использовать волоконно-оптическую линию передачи данных. Кроме этого каждая БС может использовать технологию LTE-A. В этом случае количество передаваемой информации удвоится. Дополнительной функцией такой системы может стать возможность определения координат воздушного судна относительно базовых станций. А это позволит увеличить надёжность координатно-временных определений самолёта, что позволит увеличить безопасность полётов.

Таким образом, системы передачи данных ACARS, VDL-1, VDL-2, VDL-3 и VDL-4 не удовлетворяют требованию надёжности и скорости передачи цифровой информации по линии «земля-борт». Для выполнения этих требований необходим переход к системам передачи информации L – диапазона LDACS-1. Для повышения скорости передачи информации в этих системах возможно применение технологии многоантенных систем в совокупности с технологией LTE-A, что позволит значительно увеличить скорость обмена информацией по линии «самолёт-земля-самолёт».

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Скляр Б.* Цифровая связь. Теоритические основы и практическое применение / Изд. 2-е, испр. / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
2. *Феер К.* Беспроводная цифровая связь. – М.: Радио и связь, 2000. – 514 с.

**УДК 656.7.052**

## ПОМЕХОЗАЩИЩЁННОСТЬ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ. СПУФИНГ

Эпов Н. В.

Арефьев. Р. О., канд. техн. наук  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** Гражданские типы БПЛА не имеют защит от преднамеренного воздействия злоумышленников, которые своей целью имеют: либо кражу, либо дезориентацию дрона, которая в свою очередь может создать опасную ситуацию для окружающих объектов и людей. Поэтому важно разработать систему защиты от помех, взлома, а также спуфинга.

**Ключевые слова:** БПЛА, спуфинг, помехозащищённость.

## **Введение**

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) представляют собой воздушные суда без экипажа на борту, способные выполнять разнообразные задачи. Они имеют широкий спектр применения в различных областях: от сельского хозяйства и картографии до мониторинга и безопасности.

В последние годы БПЛА активно развиваются, что связано с рядом преимуществ, которые они предоставляют:

- Экономия средств: БПЛА позволяют снизить затраты на выполнение многих задач благодаря отсутствию необходимости в пилоте, топливе и обслуживании.

- Безопасность: Беспилотные аппараты могут выполнять задачи, которые могут быть опасными или невозможными для людей.

- Точность: благодаря автоматизации и использованию современных технологий, БПЛА способны выполнять задачи с высокой точностью и надежностью.

- Оперативность: БПЛА могут быстро перемещаться между точками, что позволяет выполнять задачи за короткий промежуток времени.

- Гибкость: Беспилотные устройства могут быть адаптированы под различные задачи, обеспечивая гибкость в использовании.

В качестве существенного недостатка можно отметить, что БПЛА имеют ряд слабых сторон в вопросе информационной безопасности, которые могут привести к угону или падению. В качестве основных факторов, которым подвержены БПЛА, стоит выделить [1]:

1. Импульсная помеха.
2. Подмена пакета данных.
3. Подмена данных GPS (Спуфинг).

### **1. Реализация импульсной помехи**

Функциональное поражение электромагнитным излучением (ФП ЭМИ) – разрушение и/или повреждение элементов РЭС путем использования однократных или многократных импульсных электромагнитных воздействий, приводящих к необратимым изменениям электрофизических параметров в полупроводниковых или оптико-электронных элементах РЭС в результате их перегрева или пробоя [2].

Основным отличием ФП ЭМИ от РЭП является физический принцип нанесения ущерба. При ФП ЭМИ ущерб РЭС причиняется путем необратимого (катастрофического) или обратимого (восстанавливаемого) изменения физико-химической структуры элементов РЭС вследствие воздействия электромагнитных полей на материалы, входящие в состав электронных и полупроводниковых приборов и других компонентов этих систем (табл. 1).

Таблица 1 – Повреждения элементов БПЛА

Тип прибора	Энергия повреждения, мкДж
СВЧ-диоды	0,1 - 10
Интегральные схемы	0,1-300
Цифровые интегральные схемы	80
Полевые транзисторы	10
Маломощные транзисторы	$1 \cdot 10^4$ - $3 \cdot 10^4$
Транзисторы средней и большой мощности	$400$ - $4 \cdot 10^4$
Выпрямительные диоды	$100$ - $4 \cdot 10^5$
Быстродействующие переключающие диоды	20
Туннельные диоды	500
Кремниевые тиристоры	3000
Низкочастотные транзисторы	-

Эффект воздействия средств ФП ЭМИ на РЭС основан на возможности изменения физико-химических свойств электро- и радиоматериалов при облучении их сильными электромагнитными полями. Необратимые изменения свойств вещества, приводящие к качественно новым образованиям с иной электромагнитной структурой, происходят при значительной энергии воздействующего ЭМИ (табл. 2).

Таблица 2 – Необходимые энергии излучения

Тип изделия	Плотность потока энергии Вт/см <sup>2</sup>	Поток энергии, Дж/см <sup>2</sup>	Длительность импульса, с	Частота импульсов кГц	Длительность воздействия, с
Усилители систем управления и связи	10-40	$10^{-2}$ - $4 \cdot 10^{-2}$	$10^{-3}$	-	-
Узлы систем управления и связи на интегральных схемах (ИС) и больших интегральных схемах (БИС)	70 - 600	$0,7 \cdot 10^2$ - $610^2$	$10^{-6}$	1	1
Элементы радиопередатчиков	$10^4$ - $10^5$	$10^{-3}$ - $10^{-4}$	$10^{-7}$	-	-
Радиоприемники через антенну $S_{эфф} = 1-2$ м <sup>2</sup>	1 - 100	$10^{-5}$ - $10^{-6}$	$10^{-7}$	-	-
Телевизионные системы на видиконах (повреждение видеоусилителя)	$3 \cdot 10^3$ - $5 \cdot 10^3$	0,6-2	$2 \cdot 10^{-4}$ - $4 \cdot 10^{-4}$	-	-

В зависимости от мощности, длительности импульсов, рабочей частоты источника ЭМИ и расстояния до РЭС эффекты от электромагнитного воздействия могут быть различными – от кратковременного снижения качества функционирования и временной потери работоспособности РЭС до его полного повреждения или разрушения в результате перегрева или полевого пробоя .



При воздействии ЭМИ на метровых и более длинных волнах на металлических корпусах РЭС наводятся значительные электродвижущие силы (ЭДС), отказывают различные электронные схемы и исполнительные элементы. При воздействии ЭМИ в дециметровом или сантиметровом диапазоне волн, совпадающем с рабочим диапазоном РЭС, повреждаются входные устройства (в частности, СВЧ-диоды). Миллиметровые волны проникают в щели экранов, повреждая как входные цепи, так и экранированные устройства микроэлектроники (табл. 3).

При взаимодействии мощных СВЧ-колебаний с РЭС БПЛА могут наблюдаться два основных эффекта:

1) наведение на контурных элементах (выводах полупроводниковых приборов, печатных проводниках и т.д.) СВЧ-мощности, которая приводит к электрическим перегрузкам;

2) непосредственное взаимодействие СВЧ-импульсов со структурой и материалом полупроводникового элемента.

Таблица 3 – Генераторы излучения

Тип генератора	Частота, ГГц	Длительность импульса	Выходная мощность	КПД, %	Примечание
Гиратрон с импульсным соленоидом, обладающий стабилизируемым носителем энергии	500	2 мкс	более 100 кВт		Эксперимент
Тиратрон с высокой эффективностью моды TE <sub>031</sub>	140	2 мкс	100 кВт	30	Эксперимент
Тиратрон с резонаторами моды TE <sub>031</sub>	100	—	1000 кВт	—	—
Виркатор	До 40	3 - 5 нс	до 1 ГВт	—	—
Релятивистский гиратрон	35	55 нс	0,2 ГВт	—	Разработан
Взрывомагнитный генератор	—	1 мкс	10 <sup>10</sup> кВт	—	Разработан в Лос-Аламосе

## 2. Подмена пакета данных

БПЛА работают по беспроводной сети и используют в качестве алгоритма шифрования неустойчивый к взлому WEP [3].

Для идентификации управляющего устройства используется ID Key – уникальная метка, «привязанная» к установленному на смартфоне приложению (Flight control software) и текущей сессии. Принцип взлома прост: атакующий подключается к сети дрона, определяет уникальную метку, после чего отправляет коптеру команду, которая заставит его отключиться от текущего управляющего устройства и начать прием команд со смартфона злоумышленника, имеющих «скопированную» метку оригинального устройства.

На практике для взлома сети беспилотников нужно приложение Aircrack-ng [4]. Программа умеет мониторить эфир в поисках защищенных сетей Wi-Fi,

перехватывать пакеты и экспортировать из них данные для последующего анализа, а также применять различные алгоритмы сетевых атак. Подробнее ее функции описаны на сайте производителя.

Однако просто взломать сеть недостаточно, нужно еще перехватить передаваемые между дроном и оператором данные для этих целей специальный девайс на основе одноплатного компьютера Raspberry Pi (рис. 1)



Рисунок 1 – Компьютер Raspberry Pi

Используем Raspberry Pi с воткнутым в его USB-порт Wi-Fi-донглом и внешний адаптер Alfa AWUS036H (рис. 2), с помощью которого, собственно, и взламывается сеть.



Рисунок 2 – Alfa AWUS036H

Одноплатник запитывается от батареи через Micro USB и использовался в качестве сканера, прощупывающего эфир и определяющего MAC-адреса подключенных к беспроводным сетям устройств. Особенность заключается в том, что все коптеры одного производителя компании используют схожие MAC-адреса из одного блока, сведения о которых можно найти в публичных источниках. Проверив адрес на соответствие этому диапазону, можно безошибочно определить, что перед нами именно беспилотник, а не какое-нибудь другое устройство, работающее на Wi-Fi.

### 3. Подмена данных GPS. Спуфинг

Спуфинг – это подмена сигнала GPS, другим, более сильным сигналом, транслируемым с наземной станции. Наземная станция спуфинга заменяет сигнал спутника и дает БПЛА неверные данные о его местонахождении и положении [5]. С учётом того, какое значение имеет информация от спутников для большинства квадрокоптеров, спуфинг, в зависимости от характера, приводит к самым печальным последствиям: аварийным посадкам с высокими вертикальными скоростями, резким кренам (вплоть до опрокидывания), высоким скоростям по вертикали и горизонтали непредсказуемого характера.

Получилось реализовать экспериментально в Иркутском филиале МГТУ ГА спуфинг БПЛА DJI AIR 2s. Для этого с помощью платформы HackRF One (рис. 3) имитировался ложный сигнал GPS спутников. Методика формирования информационного сигнала GPS подробно расписана в источнике [6].



Рисунок 3 – HackRF One

Тестирование проводилось в здании филиала, что позволило запустить БПЛА без приема сигналов от текущей истинной группировки GPS. Затем имитировался сигнал GPS для точки с координатами центра ВПП аэродрома Иркутск. Данная точка относится к запретной зоне полетов БПЛА. Приняв сымитированный сигнал, БПЛА выдает сообщение, что он находится в запретной зоне и начинает садиться принудительно, не давая возможности для управления взлетом оператору. Таким образом осуществляется спуфинг атака на БПЛА.

### **Заключение**

В заключение, вопросы помехозащищенности являются крайне важными для обеспечения безопасности и надежности БПЛА. Необходимо использовать современные технологии и алгоритмы для разработки эффективных методов противодействия помехам. Также важно взаимодействие между исследователями, инженерами и операторами для создания надежных систем.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Макаренко С. И.* Модели системы связи в условиях преднамеренных дестабилизирующих воздействий и ведения разведки. Монография. – СПб.: Научно-технические технологии, 2020. – 337 с.
2. *Макаренко С. И.* Противодействие беспилотным летательным аппаратам. Монография. – СПб.: Научно-технические технологии, 2020. – 204 с.
3. Общие сведения о каналах управления и передачи данных БПЛА – [Электронный ресурс] – URL: [http://specintek.ru/media/uav/uav\\_detection/](http://specintek.ru/media/uav/uav_detection/) (дата обращения: 14.12.2023)
4. Можно ли перехватить управление дроном? – [Электронный ресурс] – URL: <https://telegra.ph/Mozhno-li-perehvatit-upravlenie-dronom-05-11> (дата обращения: 14.12.2023)
5. Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния – [Электронный ресурс] – URL: <https://uav-siberia.com/news/postroenie-sistem-svyazi-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-dlya-peredachi-informatsii-na-bolshie-ra/> (дата обращения: 14.12.2023)
6. Программа имитации сигналов GPS – [Электронный ресурс] – URL: <https://github.com/B44D3R/SDR-GPS-SPOOF> (дата обращения: 14.12.2023)

**СЕКЦИЯ**  
**«ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ**  
**БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ»**

---

*Председатель – Шаблов А. В., заместитель директора Иркутского филиала МГТУ ГА  
по УМР, канд. пед. наук*

**УДК 629.7**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ**  
**АЭРОФОТОСНИМКОВ БВС (НА ПРИМЕРЕ ВЕБ-СЕРВИСА**  
**ATTRACTOR)**

Антошина В. В., Субботина Д. А.

Колычев С. А.  
(научный руководитель)

*Курсановский авиационный технический колледж – филиал МГТУ ГА  
(г. Курсанов)*

**Аннотация.** В настоящее время перспективным направлением применения беспилотных авиационных систем является использование аэрофотосъемки и последующая обработка полученной информации. Результаты обработки в виде трехмерных моделей и цифровых планов местности в дальнейшем используются в различных приложениях геоинформационных систем. Существует значительное число программных продуктов и решений для обработки результатов аэрофотосъемки, однако часть из них недоступна с начала СВО, а часть требует значительных аппаратных решений, которые представляют серьезные финансовые ограничения для бюджетных образовательных организаций. В статье показывается, что целесообразно в учебном процессе использовать для обработки снимков облачную платформу ATTRACTOR. Данная платформа позволяет при высоком качестве получаемых результатов и высокой скорости обработки информации иметь минимальные требования как к оборудованию, так и к квалификации задействованного персонала.

**Ключевые слова:** беспилотная авиационная система, аэрофотосъемка, геоинформационные системы, цифровые модели местности, облачная платформа.

За последние годы, с развитием микроэлектроники и применением новых материалов в конструкции БАС, появилась возможность получения качественных аэрофотоснимков. Появились новые программы для обработки данных и построения ортофотопланов и трехмерных моделей местности, которые позволили автоматизировать традиционные трудоемкие фотограмметрические процессы. БАС очень востребованы при проектировании объектов строительства, для создания ГИС управления территориями, мониторинга земной поверхности и т.д. Развитие фотограмметрических технологий и индустрии простых в освоении БАС, оснащенных фото- и видеоаппаратурой, вызвало у специалистов разных профилей рост интереса к

возможностям организации аэрофотосъемки и обработки получаемых данных для дальнейшей работы с географическими продуктами, такими как цифровые модели местности и другие трехмерные модели. На рынке представлено большое количество программных решений [1], данные о которых представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Рынок программных решений

Программное обеспечение	Страна-производитель	Операционная система	Цена, руб.
Agisoft PhotoScan	Россия	Windows, MacOS, Linux	215 455
Reality Capture	Словакия	Windows	1 062 637
TrimbleUASMaster	США	Windows	347 286
Trimble INPHO	США	Windows	274 152
Pix4d	Швейцария	Windows, Linux	500 815
ENVI OneButton	США	Windows	431 741

В связи с проведением специальной военной операции в нашей стране доступно только программное обеспечение Agisoft Photoscan.

Agisoft PhotoScan – это автономный программный продукт, который выполняет фотограмметрическую обработку цифровых изображений и генерирует трехмерные пространственные данные для использования в приложениях ГИС, документации по культурному наследию и создании визуальных эффектов, а также для косвенных измерений объектов различного масштаба.

Agisoft PhotoScan – это программное обеспечение, максимально раскрывающее возможности фотограмметрии. Оно включает в себя технологии машинного обучения для анализа и постобработки, что позволяет получать результаты самой высокой точности.

PhotoScan дает возможность:

- обрабатывать изображения, получаемые с помощью RGB- или мультиспектральных камер, включая мультикамерные системы,
- преобразовывать снимки:
  - в плотные облака точек;
  - в текстурированные полигональные модели;
  - в геопривязанные ортофотопланы;
  - в цифровые модели рельефа/местности (ЦМР/ЦММ).

Постобработка позволяет удалять тени и искажения текстур с поверхности моделей, рассчитывать вегетационные индексы, составлять файлы предписаний для агротехнических мероприятий, автоматически классифицировать плотные облака точек и т.д.

Возможность экспорта во все внешние пакеты для постобработки делает Agisoft PhotoScan универсальным фотограмметрическим инструментом.

Agisoft PhotoScan позволяет автоматически создавать высококачественные 3D модели объектов на основе цифровых фотографий.

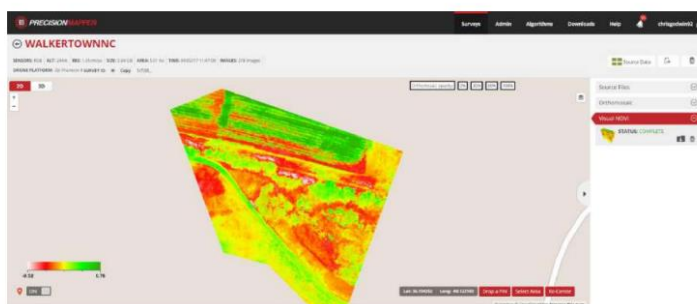


Рисунок 1 – Изображение, полученное в программе Agisoft PhotoScan

Системные требования к рабочей станции, необходимой для работы данного программного обеспечения, достаточно серьезны.

Минимальная конфигурация:

- ОС Windows XP или более поздняя (32 или 64 бит), Mac OS X Snow Leopard или более поздняя, Debian / Ubuntu (64 бит)

- Процессор Intel Core 2 Duo или более мощный

- 2 Гб оперативной памяти

Рекомендуемая конфигурация

- Windows XP или более поздняя (64 бит), Mac OS X Snow Leopard или более поздняя

- Debian / Ubuntu (64 бит)

- Процессор Intel Core i7

- 12 Гб оперативной памяти

Количество фотографий, которое может обработать ПО, зависит от объема доступной оперативной памяти. При разрешении одной фотографии порядка 10 МПикс, 2 Гб памяти достаточно для обработки 20-30 фотографий. 12 Гб позволит обработать 200-300 фотографий.

ПК, подобранный по рекомендуемым характеристикам (сайт DNS): ПК MSI MAG Infinite S3 Intel Core i7-13700F, 8 x 2.1 ГГц, 32 Гб DDR5, GeForce RTX 4070, HDD 1 Тб, SSD 1000 Гб, Windows 11 Home оценивается в 241 000 руб.

Ясно, что в комплекте с программным обеспечением Agisoft PhotoScan для бюджетного образовательного учреждения, это представляется очень накладным решением.

Российская компания Skyeer представила новый облачный продукт автоматической обработки данных с беспилотников – ATTRACTOR.

ATTRACTOR – отдельный сервис для автоматической облачной обработки «сырых» данных аэрофотосъемки. Необходимость такого сервиса обусловлена проблемами со скоростью и качеством обработки данных, с которыми сталкиваются крупные компании при масштабном внедрении аэрофотомониторинга.

В результате на фоне значительного роста объема потребляемых геопространственных данных возникают задержки в обработке, которые могут достигать 7 дней, что приводит к быстрой потере актуальности и ценности собранных данных. Также на рынке наблюдается острый дефицит специалистов



по обработке данных, что в значительной степени сдерживает масштабирование технологии аэрофотомониторинга внутри корпораций.

Сервис Attractor решает обе проблемы:

а) предъявляет минимальные требования к уровню подготовки пользователей – работа по системе «загрузил данные с БАС» – «запустил обработку» – «получил результат»;

– простой web-интерфейс, доступный с любого устройства, с минимальным набором параметров, которые действительно необходимы пользователю;

– экономия на поиске, обучении и содержании высококвалифицированного персонала;

б) легко масштабируется в рамках ИТ-инфраструктуры

– скорость обработки не должна зависеть от производительности отдельных пользовательских компьютеров;

– система должна гибко использовать имеющуюся ИТ-инфраструктуру, расширяя свои ресурсы в периоды максимальной нагрузки;

– снижение затрат на ИТ-инфраструктуру;

– гарантия скорости обработки при любых объемах данных.

Плюсом идет соответствие высоким требованиям к безопасности данных.

Преимущества ATTRACTOR:

	<b>ATTRACTOR</b>	<b>Agisoft Metashape</b> неавтоматизированная обработка данных	<b>Pix4D</b>
<b>Качество обработки данных</b>	<b>Высокое</b> Полноценная валидация данных Не требует экспертизы	<b>Среднее \ высокое</b> Зависит от характеристик пользовательских ПК и от экспертизы пользователей	<b>Среднее \ высокое</b> Зависит от человеческого фактора Требует экспертизы
<b>Скорость обработки данных</b>	<b>Высокая</b> Не зависит от отдельных пользовательских ПК Используются облачные мощности	<b>Низкая - средняя</b> Зависит от характеристик пользовательских ПК и от экспертизы пользователей	<b>Средняя</b> Передача данных на иностранные сервера или зависимость от характеристик пользовательских ПК
<b>Возможность использования облачных вычислительных ресурсов</b>	<b>да</b>	<b>нет</b>	<b>Только иностранные серверы</b>
<b>Хранение данных на территории РФ</b>	<b>да</b>	<b>да</b>	<b>нет</b>
<b>Установка в сервера заказчика</b>	<b>да</b>	<b>Нет *</b> * только установка на отдельные пользовательские ПК	<b>нет</b>

Доступ к ATTRACTOR может быть реализован как в виде подписки на услуги по обработке данных, так и в виде on-premise решения с оплатой за период использования.

Сервис будет полезен широкому спектру пользователей от небольших геодезических компаний до крупных корпораций, которым необходимо внедрить технологию мониторинга с прогнозируемым, гарантируемым и масштабируемым результатом.

Платформа является не только безопасной и конфиденциальной, но и простой для процедуры обработки данных.

Процедура занимает ТРИ ШАГА:

Шаг 1: Скачайте снимки с карты памяти беспилотника.

Шаг 2: Загрузите фотографии и запустите обработку



Съемки (2)							
НЕОТРАВЛЕННЫЕ ФОТО		ОБРАБАТЫВАЮТСЯ		ГОТОВЫЕ ПОВЕРХНОСТИ			
Название съемки	Дата съемки	Дата обработки ↑	Статус	Тариф	Продукты	Действия	
Новая съемка	13.04.2020	26.10.2023 (0ч 36мин)	Готово	S	Ортофотоплан	<a href="#">Скачать</a>	
Новая съемка	13.04.2020	26.09.2023 (0ч 50мин)	Готово	S	Ортофотоплан, Рельеф ЦММ, Обл...	<a href="#">Скачать</a>	

Шаг 3: Скачайте результат (Рисунок 2).

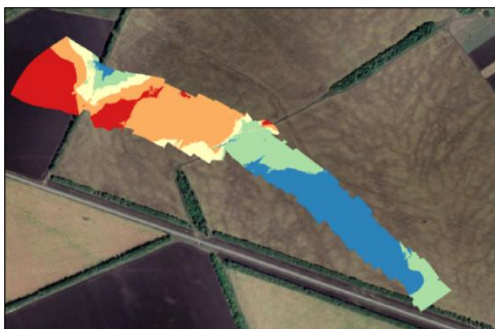


Рисунок 2 – Результаты обработки: Рельеф ЦММ и Ортофотоплан

В целом проведенный анализ достоинств и недостатков указанного программного обеспечения, используемого для обработки аэрофотоснимков БАС, позволяет сделать вывод, что рассмотренное программное обеспечение имеет необходимые возможности для обработки.

Однако, говоря об использовании программного обеспечения в учебном процессе для обработки данных с беспилотного воздушного судна, целесообразно использовать облачные технологии на основе платформы ATTRACTOR.

В пользу этого говорит следующее:

- относительная дешевизна в расчете на один снимок;
- хранение данных на территории Российской Федерации;
- возможность автоматической обработки данных (аэрофотоснимков);
- возможность дистанционного контроля за процессом обработки;
- автоматическое детектирование изменений при последующих обработках;
- простота в управлении цифровой трансформацией результатов;
- уменьшение трудозатрат при обработке и почти кратное увеличение точности по сравнению с обычными методами;
- объективность результатов при отсутствии возможности подделок и подтасовок.

Серьезным достоинством платформы ATTRACTOR является возможность работы в едином информационном пространстве, а также отсутствие серьезных аппаратных требований к оборудованию, основное требование – наличие оборудования для загрузки (передачи) информации в «Облако».

И еще: необходимо добавить, что платформа является российской разработкой, работает в российском правовом поле и заинтересована в подготовке соответствующих специалистов, а также то, что компанией-разработчиком предоставляются серьезные преференции для образовательных организаций.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихонов А. А. Обзор программ для обработки данных аэрофотосъемки / А. А. Тихонов, Д. Ж. Акматов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № 12. – С. 192-198. – DOI 10.25018/0236-1493-2018-12-0-192-198. – EDN VMTQVA.
2. Об облачной платформе Attractor – [Электронный ресурс] – URL: <https://attractor.aero/> (дата обращения: 10.10.2023)

УДК 623.746

## ДРОНЫ В ОРНИТОЛОГИИ

Гладкова И. Ю.

Знаменская К. С.  
(научный руководитель)

*Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева  
(г. Ульяновск)*

**Аннотация.** Согласно статистике, каждый год происходит около пяти тысяч столкновений пернатых с воздушными судами. Для современного лайнера столкновение с одной птицей не всегда наносит урон, угрожающий жизни и здоровью пассажиров и членов экипажа. Чаще всего одно столкновение не заметно для наземных служб, обслуживающих воздушные суда. Однако на самых ответственных и сложных этапах полета, а именно, на взлете и посадке, нежелательные гости являются огромной проблемой, угрожающей безопасному полету воздушного судна.

Данную проблему усугубляют урбанизация, свалки и сельскохозяйственные установки. На сегодняшний день специальные службы борются с подобными объектами, привлекающими внимание птиц, а также их нахождением на близлежащих территориях аэродрома.

**Ключевые слова:** аэродромы, самолеты, птицы, орнитологическая служба, БПЛА.

Необходимость решения орнитологической проблемы объясняется тем, что птицы являются огромной угрозой безопасности осуществления полетов. Потому что только в нашей стране произошло более 70 столкновений с пернатыми, сообщает Росавиация. Например, аэропорт Жуковский в 2019 году принял воздушное судно, потерпевшее бедствие из-за столкновения со стаей чаек. К счастью, обошлось без жертв [1].

Еще одно авиационное происшествие, благополучно приземлившегося А-320 на реку Гудзон, произошло в январе 2009 года. US Airways выполнял полет из Нью-Йорка в Сизтл, но уже через 1,5 минуты после взлета столкнулся со

стаей птиц, в результате чего отказали оба двигателя, экипаж был вынужден сажать поврежденный лайнер на воду. Все 155 человек, включая членов экипажа, не пострадали [1].

Столкновения с птицами происходят не только на ранних этапах полета, таких как взлет и посадка, но и при полете на эшелоне. Так Cessna 500, вылетевшая из Оклахомы, встретила со стаей белых пеликанов на эшелоне 33. Данная встреча привела к разрушению крыла и отказу одного из двигателей. К сожалению, ситуация оказалась критичной и самолет рухнул, погибли все находящиеся на борту.

Для успешной борьбы с пернатыми необходимо учитывать особенности страны и климатические условия. Перемена времен года влечет за собой сезонные миграции перелетных птиц, это важный фактор, который необходимо учитывать орнитологическим службам аэродромов. Также немаловажен размер птицы, так как крупные представители могут стать серьезной опасностью для пассажиров воздушного судна.

Защита аэропортов на сегодняшний день осуществляется с помощью различных сетей и ракетниц. Данной работой занимается специальная служба – группа контроля птиц. Она следит не только за местонахождением птиц на территории аэродрома и в радиусе 15 километров от него, а также за близлежащими территориями, популяцией пернатых и их перемещениями.

Если на территории аэродрома и взлетно-посадочной полосы будут обнаружены стаи птиц, то воздушное судно, которое готовится к взлету, не получит разрешение даже на запуск двигателей. Это связано со специальными авиационными правилами, птиц не должно быть на высоте от 60 до 150 метров, пока воздушное судно не наберет нужной высоты для минимизации рисков прерывания взлета.

Существуют специальные службы аэродрома, отслеживающие местонахождение некрупных особей, например, голубей или воробьев. А перелетных птиц во время сезонных миграций отслеживает особая сезонная группа.

Одним из самых распространенных и эффективных способов борьбы с пернатыми является использование хищных птиц, например, соколов или сапсанов, которые обучены отгонять незваных гостей. Пернатые, замечая опасность в виде сокола, стараются немедленно покинуть охраняемую территорию в радиусе одного-двух километров. Для борьбы со стаями небольших птиц чаще всего используют ястребов по причине небольшой высоты полета этой птицы, примерно составляющей 200-300 метров. Способ защиты от негативного влияния птиц на безопасность полетов с помощью использования хищников позволяет охватывать территории вблизи аэропортов и аэродромов. Главным недостатком такого способа, помимо негуманного обращения с животными, является то, что при очередном задании птица может не только не вернуться в силу инстинктов, но и погибнуть. Согласно статистике 37 процентов обученных пернатых погибают в процессе осуществления контроля за территорией аэропорта. Учитывая все затраты на обучение и содержание крылатых работников, руководству невыгодно спонсировать данный способ

орнитологической борьбы с птицами. В связи с этим появляется необходимость новых методов, контролирующих безопасное воздушное движение самолетов.

Сейчас, помимо биоакустических, ультразвуковых и лазерных установок, механических птицеотпугивателей, ружей, ракетниц, газовых пушек и других средств противодействия пернатым, являются дроны со встроенной звуковой аппаратурой, имитирующей крики птиц.

Однако новые устройства помогут аэродромам и аэропортам всего мира избавиться от пернатых более результативным, экологичным и оперативным способом.

При сравнении использования БПЛА и использования хищных пернатых для борьбы с птицами можно выделить существенные плюсы искусственного интеллекта. Так, например, БПЛА могут использоваться в сложных метеоусловиях, показывать наиболее точные результаты по сравнению с хищниками, которые в силу инстинктов могут просто не вернуться на аэродром назначения.

При обнаружении объекта борьбы, динамики, установленные на устройстве, издают звуки хищника и тем самым отпугивают незваных гостей. Благодаря нахождению БПЛА в воздушном пространстве исчезают риски потери или смерти хищника-охранника, главным условием обеспечения безопасности полетов является своевременная смена зарядных устройств-аккумуляторов.

Так как БПЛА оснащены современными камерами с высоким разрешением, сотрудники могут наблюдать не только за пернатыми, но и за просходящим на ВПП, а именно за животными, спецтранспортом и людьми.

Еще одним важным преимуществом является водонепроницаемость и прочность отдельных частей механизма. Данное свойство дает возможность осуществлять деятельность БПЛА даже в сложных метеоусловиях, например, дождь, морось. Таким образом защита аэропортов и аэродромов осуществляется бесперебойно в течение суток. Данная система обеспечивает безопасное, эффективное и экономичное использование территории аэроузла.

Сегодня, учитывая распространенность БПЛА, существует проблема регистрации, сложности получения разрешающих документов на ИВП, а также согласования со службами безопасности. За счет этого увеличивается рост их незаконного использования.

Самым существенным недостатком является уязвимость БПЛА. Их центральную систему управления не составит большого труда атаковать и использовать в своих интересах. Злоумышленники могут заполучить ценную информацию, повредив файлы или передав данные третьим лицам. Кроме того, БПЛА может быть сбит службами ПВО.

Что касается практического применения, аэропорт Внуково начал использовать дрон со специальным звуковым сопровождением – криками птиц. Представитель авиаузла отметил, что беспилотник летает не над самим аэродромом, а над прилегающими территориями – в поисках свалок и мест скопления птиц.

Как показывает опыт, максимальный успех в борьбе с ущербом, наносимым птицами, удаётся достичь при комплексном подходе, когда

организационные мероприятия и применение традиционных средств, сочетаются с использованием современных технических средств защиты, воздействующих на различные органы чувств птиц.

Современные методы, учитывающие особенности авиационной орнитологии, наиболее эффективно защищают аэропорты и аэродромы от непрошенных гостей. Всегда стоит учитывать тот факт, что пернатые умеют приспосабливаться к новым условиям, поэтому всегда необходимо развивать способы борьбы с ними, учитывающие все особенности данные сферы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. The Village. Новости Москвы, Санкт-Петербурга. Люди, места, события. – [Электронный Ресурс] – URL: <http://www.the-village.ru> (дата обращения 7.09.2019)
2. Воздушные Ворота Северной Столицы – [Электронный ресурс] – URL: <https://pulkovoairport.ru> (дата обращения: 9.09.2019)
3. Ваш маркет. Товарная энциклопедия – [Электронный ресурс] – URL: <https://vash.market> (дата обращения: 9.09.2019)
4. *Симагин М. С.* Внедрение беспилотных летательных аппаратов в орнитологическую службу аэропорта / М. С. Симагин // Молодой ученый. – 2019. – № 37(275). – С. 101-103. – EDN OVGJTV.

**УДК 629.7**

## ПРЕОДОЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЫВА: ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КАК ОСНОВНОЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ В СФЕРЕ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ

Клюева А. А.

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** Последствия развития отрасли беспилотных авиационных технологий, включая ее активную интеграцию в различные сферы человеческой деятельности, ощущаются благодаря увеличению эффективности и производительности труда. Однако, этот быстрый технологический прогресс также создает такие проблемы, как возникновение разрыва между получаемым образованием и необходимыми профессиональными компетенциями.

Разрыв между востребованными профессиональными навыками и возможностями образовательной системы требует ответных мер и разработки адекватных стратегий для развития кадрового потенциала в сфере беспилотной авиации.

В статье предложены рекомендации по совершенствованию и адаптации образовательных программ в учебных планах образовательных учреждений в рамках формирования базовых навыков и знаний, необходимых для успешного продолжения образования в сфере беспилотной авиации и связанных с ней технологий.

**Ключевые слова:** кадровый потенциал БАС, программы подготовки специалистов, система образования, беспилотные авиационные системы, школьники.

Согласно исследованию рынка, опубликованному Zion Market Research, анализ спроса на глобальные беспилотные авиационные системы, размер рынка и доля выручки были оценены примерно в 26,89 млрд долларов США в 2022

году и, по оценкам, вырастут примерно на 48,17 млрд долларов США к 2030 году при среднегодовом росте примерно на 7,56% в период с 2023 по 2030 год.

Один из ключевых факторов, способствующих быстрому развитию иностранных рынков беспилотной авиации, заключается в высоких уровнях инвестиций и государственной поддержке этой отрасли. Многие страны предоставляют финансовую поддержку, налоговые льготы и стимулирующие программы для компаний и стартапов, разрабатывающих беспилотные авиационные технологии, что способствует быстрому привлечению капитала, развитию инноваций и формированию благоприятной среды для роста рынка. Более высокий уровень исследовательской и разработческой деятельности также играет важную роль в развитии иностранных рынков беспилотной авиации. Иностранные страны широко инвестируют в научные исследования, разработку новых технологий и инновационные проекты. Это способствует быстрой коммерциализации новых решений и ускоряет технологический прогресс в области беспилотных авиационных систем.

В странах активно развивают образовательные программы и инициативы, направленные на подготовку и повышение квалификации специалистов в области беспилотной авиации, что в том числе включает в себя создание специализированных учебных заведений, курсов и программ, которые обеспечивают необходимые знания и навыки для работы в этой области.

Для того чтобы преодолеть отставание и ускорить развитие в данной области, важно опираться на эти факторы и стремиться к их усовершенствованию на национальных рынках беспилотной авиации. Однако также необходимо адаптировать данные факторы к контексту страны, учитывая особенности и потребности местного рынка и индустрии в целом.

## **Перемены в сфере занятости в рамках развития индустрии БАС в Российской Федерации**

Развитие рынка беспилотных технологий приносит значительные перемены в сферу занятости. Беспилотники быстро интегрируются в различные отрасли человеческой деятельности, приводя к появлению новых профессий и трансформации существующих рабочих мест. Специалисты по беспилотным системам, инженеры в области беспилотных аппаратов, аналитики данных, специалисты по программированию и многие другие профессии становятся востребованными на просторах представленного сегмента, что предоставляет новые возможности для трудоустройства и профессионального развития. Пример вакансий на одном из крупных российских сайтов по поиску работы и сотрудников HeadHunter [3]:

**Оператор беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)**  
**от 95 000 ₽**

АО Стройтранснефтегаз   
Иркутск

 Опыт от 1 года до 3 лет

Выполнение фото и видео мониторинга объектов строительства средствами беспилотного летательного аппарата (квадрокоптер).  
Обработка (монтаж) исходных фото- видео материалов.

Высшее образование. Опыт работы с фото-видеооборудованием (DJI Mavic 3, DJI Mavic 2 pro, DJI Air 2s).

[Откликнуться](#)

**Инструктор по обучению операторов БПЛА**  
**от 100 000 ₽**

ООО РБС Гарпия ✓  
Москва, ● Сокол

📅 Опыт от 1 года до 3 лет

Отклик без резюме

[Откликнуться](#) [Показать контакты](#)

**Технический специалист БПЛА**  
**от 85 000 ₽**

ООО ПТЕРО ✓  
Москва, ● Университет

📅 Опыт от 1 года до 3 лет

Отклик без резюме

[Откликнуться](#) [Показать контакты](#)

Трудовой рынок диктует необходимость переквалификации и обновления навыков для адаптации к новым условиям. Человек хоть и остается неотъемлемой частью беспилотных систем в роли операторов, аналитиков данных и специалистов по обслуживанию, но для упомянутой адаптации важно инвестировать в образование и развитие кадрового потенциала, чтобы обеспечить переход к новой эпохе беспилотных технологий.

Реализация программы подготовки квалифицированных кадров в области беспилотных авиационных систем является одним из «ключевых драйверов развития отрасли беспилотной авиации» – отмечается в «Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации 21 июня 2023 г. № 1630-р.

Уже к 2030 году в России планируется подготовить 1 миллион специалистов в области эксплуатации беспилотных авиационных систем. По оценке Минпромторга, 60 % от общего объема спроса на кадры в данном секторе составят прикладные специалисты, что составляет около 600 000 операторов дронов. В год – 100 000 специалистов.

Однако результативное развитие отрасли беспилотников и выполнение плана, поставленного в рамках федерального проекта «Кадры для БАС», по количеству выпускаемых специалистов не может осуществляться в полной мере без предоставления молодому поколению доступа к новым технологиям и отсутствия качественного образования в области беспилотной авиации. Развитие и привлечение молодых специалистов в отрасль требует соответствующих усилий и внимания к образовательной системе.



Одним из ключевых вызовов, с которыми на данный момент сталкивается система образования в области беспилотной авиации, является необходимость следовать за быстрым темпом внедрения технологий в сферы человеческой деятельности, вследствие чего невозможность адаптации и совершенствования имеющихся разработок (учебные программы, курсы) к изменениям в столь короткое время, что создает разрыв между требованиями рынка труда и уровнем подготовки будущих специалистов. Примеры требований к эксплуатантам БВС с сайта HeadHunter:

<p><b>Функционал:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>— проведение технического обслуживания и мелкого ремонта, предполетная подготовка БПЛА различных типов;</li><li>— участие в составлении и оформлении полетного задания и получения разрешения на полеты;</li><li>— осуществление испытательных и демонстрационных полетов на БПЛА мультироторного и самолетного типа, FPV;</li><li>— анализ результатов полета, подготовка отчетов;</li><li>— настройка, доработка и установка различных видов полезной нагрузки для БПЛА.</li></ul> <p><b>Требования:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>— опыт пилотирования и технического обслуживания беспилотных воздушных судов мультироторного и самолетного типа, FPV (БПЛА);</li><li>— опыт пилотирования коптерных БПЛА/FPV-дронов;</li><li>— инженерные навыки по ремонту/доработке коптерных БПЛА/FPV-дронов;</li><li>— опыт в разработке ПО систем управления БПЛА (навигации и управления, моделирования траектории полётов);</li><li>— опыт разработки карты пространств и систем обнаружения препятствий и их облёта);</li><li>— наличие сертификата (удостоверения) о прохождении обучения по эксплуатации и обслуживанию БПЛА.</li></ul>
--

<p><b>Задачи:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>— проведение испытаний БПЛА различных типов;</li><li>— участие в разработке БПЛА;</li><li>— тестовое выполнение авиационных работ до передачи штатным пилотам;</li><li>— мелкий ремонт БПЛА в процессе проведения испытаний;</li><li>— регулярные командировки.</li></ul> <p><b>Требования:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>— опыт пилотирования БПЛА и авиамоделей обязателен;</li><li>— базовые навыки «полевого» ремонта БПЛА: пайка, ремонт корпуса;</li><li>— умение настраивать Pixhawk (ardupilot) будет преимуществом;</li><li>— опыт в моделизме и/или программировании автопилота будет преимуществом.</li></ul>
--

<p><b>Чем предстоит заниматься:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>— Разработкой ПО для управления БПЛА на базе Ardupilot;</li><li>— Разработкой систем компьютерного зрения на основе нейросетей;</li><li>— Прошивкой и тестированием прошивок Ardupilot;</li><li>— Прототипированием БПЛА.</li></ul> <p><b>Наши ожидания:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>— Начальные знания в электронике и радиотехнике;</li><li>— Опыт работы с Python: NumPy, Scipy, Matplotlib;</li><li>— Уверенный пользователь Linux;</li><li>— Знание принципа работы прошивок полётных контроллеров БПЛА;</li><li>— Базовое понимание динамики полёта БПЛА.</li></ul>
---

Для сокращения этого разрыва и возвращения квалифицированных специалистов в области беспилотной авиации необходимы активные усилия со стороны образовательных учреждений, особенно со стороны школ, являющихся ключевым звеном между ребенком и обществом.



По информации Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки за 2022 год (на начало 2022/2023 учебного года) система образования охватывает 25,4 млн детей и молодежи, 17,7 млн. из которых – школьники.

Министерство науки и высшего образования в Российской Федерации опубликовало на официальном сайте следующую информацию: «в этом учебном году 126 инженерных классов начнут свою работу в 96 школах: 65 по авиастроительному профилю (обучение с 5-го класса), 31 по судостроительному (набор ведется с 10-го класса). Специализированные классы появятся в школах 23 регионов России» [4]. А чтобы поступить в инженерный класс, школьникам необходимо продемонстрировать знания в области физики, математики и информатики, что уже сильно лимитирует возможности для ребят, которые не имеют глубоких знаний в перечисленных предметах.

Согласно данным Росстата, на начало 2023 года в России функционируют около 40 000 школ. Только в Москве, опираясь на данные в открытых источниках, функционирует около 1500 учебных заведений. И на такое количество школ – всего 126 инженерных классов.

Тип собственности	Количество школ
Государственная	35 000
Частная	3 000
Муниципальная	2 000

Количество школ в России по типу собственности

Согласно данным, предоставленным Министерством просвещения, в 2023 году свыше 630 тыс. выпускников приняли участие в сдаче Единого государственного экзамена в России.

Год	Кол-во учеников, сдающих физику	% доля	Средний балл	Не преодолели мин. порог (39 баллов)
2023	89 000	14%	54,8	-
2022	100 000	16%	53,8	-
2021	128 000	18,8%	55,9	6,5%
2020	139 574	19,6%	54,5	5,7%

Неудивительно, что практически за 4 года доля школьников, выбирающих физику, сократилась более чем на 5% (больше 50.000 человек). И это только по приблизительным подсчетам! А в тройку лидеров вошли обществознание, информатика и ИКТ.

Для экономики страны, где наблюдается дефицит квалифицированных инженеров во время цифровизации и роботизации практически всех сфер человеческой деятельности, недостаток интереса школьников к изучению физики, как и смежных наук, может стать серьезной проблемой.

### **Проектная деятельность в рамках формирования познавательной активности школьников**

В эпоху цифровизации образования изменения в образовании необходимы.

Проектная деятельность сосредоточена на непрерывной учебной деятельности, которая, в свою очередь, основана на запросах реального мира. Является одним из методов обучения, который справляется с этими вызовами, стимулируя познавательную активность учащихся. В этом контексте проектную деятельность можно рассматривать как самостоятельную структурную единицу учебно-воспитательного процесса, в процессе которой учащиеся изучают не только средства, но и способы того или иного вида деятельности. Она обеспечивает проявление инициативы, самостоятельности, творческого начала, создает положительную мотивацию для самообразования учащихся.

Одной из проблем в образовании является несоответствие между тем, что учащиеся изучают в школе, и тем, как они могут применять эти знания в своей повседневной жизни. В то время как школы предоставляют структурированную учебную программу и среду обучения, у учащихся могут быть ограниченные возможности непосредственно применять свои знания за пределами школы.

Когда учащиеся не могут свободно и в полной мере использовать свой опыт за пределами школы в рамках самой школы, это может привести к отсутствию вовлеченности и мотивации. Студентам может быть трудно осознать актуальность и практичность того, что они изучают, что может привести к снижению интереса к учебе. Это может помешать их способности эффективно применять свои знания в реальных жизненных ситуациях.

Точно так же, если учащиеся не в состоянии применить то, чему они научились в школе, в своей повседневной жизни, им может быть трудно осознать ценность и цель своего образования. Разрыв между теорией и практикой может затруднить студентам перенос знаний и навыков, приобретенных в классе, в реальные сценарии. Это может ограничить их способность решать проблемы и адаптироваться к требованиям современного рынка.

Чтобы решить эту проблему, преподавателям важно способствовать установлению связей между обучением в классе и реальным жизненным опытом. Это может быть сделано с помощью проектного обучения, возможностей для практического обучения и интеграции реальных примеров в учебную программу. Предоставляя учащимся возможность применять свои знания и навыки в практических ситуациях, школы могут лучше подготовить учащихся к решению реальных жизненных задач и повысить их мотивацию к обучению.

Укрепляя связи между школой и реальным жизненным опытом, педагоги могут повысить вовлеченность учащихся, мотивацию и практичность образования.

Проектная деятельность основывается на подходе, где учащиеся активно участвуют в процессе обучения, определяют свои интересы и вопросы для исследования. Вместо пассивного получения информации они сами создают и разрабатывают проекты, которые целенаправленно решают реальные проблемы или исследуют интересующие области знания.

Например, использование искусственного интеллекта позволяет развивать навыки анализа больших данных и прогнозирования, а виртуальная реальность создает иммерсивную среду для исследования и экспериментов.

Одним из основных преимуществ проектной деятельности является ее направленность на реальный мир. Учащиеся работают над проектами, которые имеют практическую значимость и влияние. Это помогает им осознать свою роль в обществе и развить навыки применения полученных знаний в реальных ситуациях. В этом подходе участники не просто пассивно усваивают знания, а сами формулируют вопросы, исследуют проблемы, проводят эксперименты и находят решения.

Проектная деятельность также позволяет преодолеть дисциплинарные границы. Вместо изолированного изучения предметов студенты могут интегрировать знания и навыки из различных, уже изучаемых ими предметов: физика, математика, информатика, инженерия и т.д. Школьники получают возможность применить знания из разных областей для решения конкретных задач, связанных с беспилотными технологиями. Это помогает им увидеть целостную картину и осознать, как разные области знаний взаимосвязаны и применяются на практике. Такое междисциплинарное обучение позволяет студентам получить более полное понимание проблемы и развить комплексные навыки, которые потребуются им в реальном мире.

Кроме того, обучение, основанное на проектах, активно вовлекает студентов в процесс обучения. Они не просто пассивно слушают лекции и выполняют задания, но сами являются активными участниками, инициаторами и разрабатывающими свои проекты. Это помогает развить у них самостоятельность, ответственность, умение работать в команде и решать проблемы, что важно для их будущей карьеры. Учащиеся активно ищут информацию, изучают литературу, проводят эксперименты и интервью с экспертами, чтобы расширять свои знания о беспилотных системах.

Таким образом, обучение, основанное на проектах, представляет собой инновационный метод обучения, который реализует реформу в учебной программе и преподавательском составе. Оно обеспечивает связь с реальным миром, интеграцию знаний, активное вовлечение студентов и развитие творческого мышления. Этот подход помогает подготовить студентов к сложностям и вызовам современного общества и развить у них навыки, необходимые для успеха в будущей карьере.

**Для реализации предложенного решения можно предложить ввести следующие нововведения:**

– партнерские отношения с профессионалами отрасли, университетами и исследовательскими институтами могут предоставить ресурсы, экспертные рекомендации и практические примеры из жизни. Используя это сотрудничество, школы могут совершенствовать свои учебные планы, предлагать специализированные программы и предоставлять учащимся возможности для стажировок, ученичества и практических проектов, что также является частью проектной деятельности. Такая синергия между академическими кругами и промышленностью способствует плавному переходу от образования к рабочей силе и создает резерв квалифицированных кадров в области беспилотной авиации;

– системный подход, когда любой объект рассматривается как совокупность взаимосвязанных элементов и имеющий цель, ресурсы, и связь с внешней средой, позволит объединить ресурсы и экспертизу различных учебных заведений, индустрии и правительственных органов с целью создания обширной и качественной системы подготовки специалистов;

– обновить содержания программ дополнительного образования с учетом научно-технологического развития и сектора экономики;

– обеспечить научно-методическое сопровождение педагогических работников и управленческих кадров путем повышения уровня их подготовки.

В результате формирования цельной системы непрерывного образования, сфокусированной на развитии проектной деятельности, образовательные учреждения будут в состоянии обеспечить высококвалифицированный кадровый потенциал для отрасли беспилотной авиации, что способствует достижению технологического прогресса и удовлетворению потребностей растущего сектора беспилотной авиации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сергеева Н. Г.* Повышение эффективности общения старшеклассников средствами проектной деятельности : специальность 13.00.01 "Общая педагогика, история педагогики и образования" : диссертация на соискание ученой степени кандидата педагогических наук / Сергеева Надежда Геннадьевна. – Москва, 2006. – 232 с. – EDN NNZCNX.

2. *Frontiers | A study of the impact of project-based learning on student learning effects: a meta-analysis study (frontiersin.org)* – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2023.1202728/full> (дата обращения: 20.09.2023)

3. Работа в Иркутске, поиск персонала и публикация вакансий. – [Электронный ресурс] – URL: <https://irkutsk.hh.ru/> (дата обращения: 20.09.2023)

4. С нового учебного года в России откроются 126 инженерных классов по профилю судо- и авиастроения. – [Электронный ресурс] – URL: <https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/nauka-i-obrazovanie/57287/> (дата обращения: 20.09.2023)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КВАДРОКОПТЕРА

Малинин Д. А., Сапунова С. С.

Колычев С. А.  
(научный руководитель)

*Курсановский авиационный технический колледж – филиал МГТУ ГА  
(г. Курсанов)*

**Аннотация.** Применение беспилотных авиационных систем в настоящее время предполагает их всепогодное использование, но это связано с потенциальной возможностью обледенения. Из-за конструктивных особенностей и небольших размеров дрона использование противообледенительных систем по типу самолета совершенно невозможно. В статье, учитывая особенности защиты от обледенения квадрокоптеров, их несущих частей (пропеллеров), корпуса, а также камеры, предлагается к применению такая защитная технология, как эпиламирование. Эпиламы не изменяют структуру твердой поверхности, а лишь обеспечивают изделиям защитные свойства. Показано, что технология эпиламирования отвечает современным условиям, легко вписывается в существующий процесс технического обслуживания, не требует капитальных затрат, высокоэффективна в условиях как единичного, так и серийного использования. Сделан вывод о возможности применения эпиламов для защиты БАС от обледенения.

**Ключевые слова:** БАС, обледенение, квадрокоптер, эпиламы, эпиламирование, техническое обслуживание.

Без сомнения, беспилотные авиационные системы стали применяться в разных сферах человеческой жизни все чаще и разнообразнее. К основным задачам, выполняемым дронами, можно отнести: наблюдение, аэрофотосъемка, поддержка поисково-спасательных операций, картографирование, географическая разведка, ледовая разведка, сельхозработы и т.д. Все эти задачи предполагают всепогодное использование БАС, в том числе в условиях низких температур и в условиях дождя, что связано потенциальной возможностью обледенения.

Обледенением называется отложение льда на обтекаемых поверхностях летательных аппаратов, а также на силовых установках, лопастях пропеллеров и на внешнем специальном оборудовании. В случае, если в воздухе на данной высоте полета присутствуют переохлаждённые капли воды, а поверхность аппарата имеет отрицательную температуру – начинается процесс обледенения. По причине отложения наледи на конструкциях квадрокоптера изменяются аэродинамические силы, увеличивается вес и нарушается устойчивость и равновесие. Даже наличие инея и изморози может снизить подъёмную силу крыла или винта.

В некоторых случаях в тумане лопасти могут покрыться льдом, что может быть очень опасно по причине разбалансировки винта и выхода из строя

двигателя. Кроме этого, обледенение представляет опасность для электронного оборудования и механики коптера. Зимние полеты подразумевают попадание снега через различные отверстия в корпусе. Из-за тепла, выделяющегося внутри во время работы агрегата, снег может таять, образуя воду и конденсат. Однако при ветре и при очень низких температурах капли воды могут легко замерзнуть и превратиться в лед. Это явление может привести к негативным и даже катастрофическим последствиям для устройства.

Низкие температуры вредны для пластикового корпуса беспилотника, пропеллеров и других важных компонентов. Пластик, который становится хрупким на морозе, начинает разрушаться в ситуациях, когда этого не произошло бы при других температурных условиях (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Последствия действия обледенения для БАС

Влияние обледенения на БАС легко услышать: меняется звук пропеллера, дрон начинает трясти даже в абсолютно спокойных условиях. На этом этапе некоторые новые коптеры будут отображать ошибку ESC (ошибку регулятора), и их следует немедленно посадить. Если проигнорировать это предупреждение, то дрон предельно увеличивает обороты двигателя, пытаясь удержаться в воздухе до самого последнего момента, но практически всегда падает.

Все квадрокоптеры, используемые сейчас гражданской авиацией и вооруженными силами по всему миру, не имеют систем защиты от обледенения и скопления снега. Из-за конструктивных особенностей и небольших размеров дрона использование противообледенительных систем по типу самолета совершенно невозможно. Кроме того, противообледенительные системы требуют энергию, источник которой на борту беспилотника ограничен.

В связи с этими особенностями для защиты от обледенения квадрокоптеров, их несущих частей (пропеллеров), корпуса, а также камеры, предлагается к применению такая защитная технология, как эпиламирование.

Эпиламирование – это процесс нанесения на поверхность растворов (эпиламов) фторсодержащих поверхностно-активных веществ, образующих после испарения растворителя мономолекулярные пленки, придающие поверхности новые свойства [1].

Эпиламы не изменяют структуру твердой поверхности, а лишь улучшают ее, придавая поверхности эффект однородной гидрофобной, хемосорбируемой пленки, обеспечивающей изделиям защитные свойства. Геометрические размеры обрабатываемых поверхностей также остаются практически неизменными – толщина защитного слоя составляет примерно 100 нанометров. Эпиламы образуют с поверхностями одно химическое целое, сдерживая основные воздействия на поверхность; устойчивы к низким и высоким температурам, то есть не изменяют своих функциональных свойств в диапазоне температур от -80°C до +420°C.

Свойства защитного покрытия:

- Защита от льда, инея, снега – обеспечивает защиту за счет формирования тонкого слоя, после высыхания которого образуется прозрачная однородная пленка;
- Сохранение работоспособности при расширении температурного диапазона;
- Превосходные антиадгезионные свойства – покрывает все поверхности компонента, уменьшая поверхностную энергию и обеспечивая исключительную способность к снижению адгезии, налипания и воздействия агрессивных сред;
- Существенное изменение смачиваемости поверхности и снижение поверхностной энергии;
- Быстрота нанесения и эффективность – быстрое высыхание тонкого слоя нанесенного покрытия позволяет сократить время обработки и трудовые затраты;
- Характеристики воздействия на окружающую среду – влияние на окружающую среду незначительное;
- Характеристики безопасности и воздействия на здоровье персонала – не содержат отравляющих радиоактивных веществ и имеют низкий уровень токсичности.

Прозрачные композиции Эпилам СФК-20 или Эпилам-05 Флуора марка С [2] применяются на твердых поверхностях (металлов, сплавов, стекла, композитов, резины, пластика, полимеров, керамики, бетона, панелей, тканей и других материалов) с целью получения антиобледенительного покрытия.

Механика взаимодействия эпиламов с поверхностью твердого тела выглядит следующим образом: при эпиламировании формируется слой ориентированных молекул, радикально меняющих энергетические воздействия поверхности твердого тела.

Для неметаллических поверхностей, например, пластмасс или резины, эпиламы связываются с поверхностью за счет водородных мостиков, дисперсионных и капиллярных сил. В случае других неметаллов, например, керамических материалов, соединение происходит за счет взаимодействия с ионной решеткой.

Основные этапы эпиламирования:

1. Подготовка изделий к обработке.
  - 1.1. Очистка и обезжиривание.

Перед нанесением поверхностно-активного вещества (ПАВ) изделия необходимо тщательно очистить от механических загрязнений и обезжирить. Пыль и другие загрязнения с изделий из полимеров или резины удаляют протиркой тампоном или кистью (или струёй сжатого воздуха). Обезжиривать можно бензином, ацетоном, уайт-спиритом, используя марлю, вату, чистую ветошь.

1.2. Сушка. Температура обработки РТИ и деталей из пластиков и полимеров не должна превышать 50 °С. Если позволяют размеры, то изделия после очистки и обезжиривания сушат в сушильном шкафу при 110°С-120°С в течение не менее 30 минут. Крупногабаритные изделия сушат в помещении при комнатной температуре до полного высыхания растворителя (относительная влажность в помещении не должна превышать 60%) или с помощью термопистолета.

## 2. Покрытие раствором.

2.1. Нанесение валиком, щеткой, кистью. Защитные покрытия могут наноситься с помощью щетки, кисти, валиков. Следует учитывать, что при нанесении эпиламов щеткой или кистью трудно добиться равномерной толщины пленки.

Если покрытие должно наноситься только на часть детали, то целесообразно применять способ трафаретного нанесения. Перед высыханием маскирующие трафареты или защитная пленка удаляются.

2.2. Распыление. Покрытия эпиламов могут наноситься методом распыления с использованием сжатого воздуха в обычных помещениях с хорошей вентиляцией. Толщина защитной пленки покрытия регулируется количеством наносимых слоев покрытия (достаточно двух слоев). Каждый последующий слой можно наносить лишь после полного высыхания предыдущего слоя.

При распылении нужно использовать сжатый сухой воздух, не содержащий масла. Для равномерного нанесения покрытия в процессе длительной работы или после перерывов покрытие в емкости необходимо периодически перемешивать.

2.3. Погружение. Если позволяют форма, размер и количество деталей, а также при наличии необходимого оборудования для нанесения покрытий Эпилам может использоваться процесс погружения. В качестве альтернативного варианта нанесения покрытия на квадрокоптер можно предложить окунание или погружение отдельных деталей квадрокоптера, например, лопастей пропеллеров, в ёмкость с раствором.

3. Высыхание растворителя. Эпиламирование производится только при условии, что температура окружающей среды более + 8°С, а обрабатываемое изделие и композиция должны быть нагреты в пределах +10 ÷ 85°С. После нанесения покрытие высыхает за 10 минут, но полное отверждение происходит через 60 минут.

## 4. Контроль наличия ПАВ на обработанной поверхности.

4.1. Для определения наличия покрытия на обработанную поверхность поместить каплю вазелинового масла диаметром 1-1,5 мм и замерить краевой



угол. Для этого в нашем случае предлагается самым простым и доступным методом – фотофиксацией определить угол с помощью полученного изображения. Если краевой угол не менее  $45^\circ$ , то на поверхности есть покрытие. Если угол меньше  $45^\circ$  – покрытия нет, что может быть вызвано недостаточно тщательной подготовкой (обезжириванием) поверхности или значительным снижением рабочей концентрации ПАВ в композиции.

4.2. При невозможности проведения замера краевого угла поверхность с каплей масла расположить под углом  $70-75^\circ$  и оставить на 15 минут. Если капля масла не сместилась, значит на поверхности есть ПАВ.

В заключение хочется отметить, что вопрос борьбы с обледенением квадрокоптеров актуален и требует нетривиальных решений, так как типовые конструкции противообледенительных систем применить к БАС практически затруднительно.

Технология эпиламирования отвечает современным условиям, легко вписывается в существующий процесс технического обслуживания, не требует капитальных затрат, высокоэффективна в условиях как единичного, так и серийного использования. Процесс эпиламирования улучшает структуру поверхности, при этом, не меняя её свойств, а созданный тонкий защитный слой создает антиобледенительную поверхность, делая ее устойчивой к воздействию холода и покрытию изморозью.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кондратов Р. Ю.* Доклад по эпиламам и процессу эпилампирования. Материалы конференции «Технология эпилампирования». – Санкт-Петербург, 2010.
2. Эпиламы. – [Электронный ресурс] – URL: <https://epilam.com/products/antiadgeziv-epilam-sfk-20-antinalipatel> (дата обращения: 12.10.2023)

**УДК 621.89.097**

## ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ДВИГАТЕЛЯ НА БЕСПИЛОТНИКАХ

Манев Е. В., Николаев А. А., Веремчук Е. А.

*Омский летно-технический колледж гражданской авиации имени  
А. В. Ляпидевского – филиал ФГБОУ ВО «Ульяновский институт гражданской  
авиации имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева»  
(г. Омск)*

**Аннотация:** В данной статье рассматривается возможность и эксплуатация пульсирующего реактивного двигателя (ПуВРД) для беспилотных летательных аппаратов в разных сферах, анализируются преимущества и недостатки перед другими видами двигателей и предлагаются возможные сферы применения.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, преимущества, пульсирующий реактивный двигатель.

Пульсирующий реактивный двигатель – это один из вариантов для «одноразовых» целей, когда нет смысла устанавливать более эффективные, мощные и экономичные силовые агрегаты. Именно поэтому американская компания по разработке в сфере авиации Wave Engine Corporation пытается возродить ПуВРД, заявляя, что на новом техническом уровне цифровое управление ПуВРД позволит получить экономичность на уровне ТРДД при очень низкой стоимости самого двигателя [2].

Пульсирующий воздушно-реактивный двигатель (ПуВРД, англоязычный термин Pulse jet), как следует из его названия, работает в режиме пульсации, его тяга развивается не непрерывно, как у ПВРД или ТРД, а в виде серии импульсов, следующих друг за другом с частотой от десятков герц, для крупных двигателей, до 250 Гц – для малых двигателей, предназначенных для авиамodelей [3].

Конструктивно, ПуВРД представляет собой цилиндрическую камеру сгорания с длинным цилиндрическим соплом меньшего диаметра. Передняя часть камеры соединена со входным диффузором, через который воздух поступает в камеру [3]. Между диффузором и камерой сгорания установлен воздушный клапан, работающий под воздействием разницы давлений в камере и на выходе диффузора: когда давление в диффузоре превышает давление в камере, клапан открывается и пропускает воздух в камеру; при обратном соотношении давлений он закрывается [3]. Цикл работы ПуВРД состоит из следующих фаз, показанных на Рис. 1.:

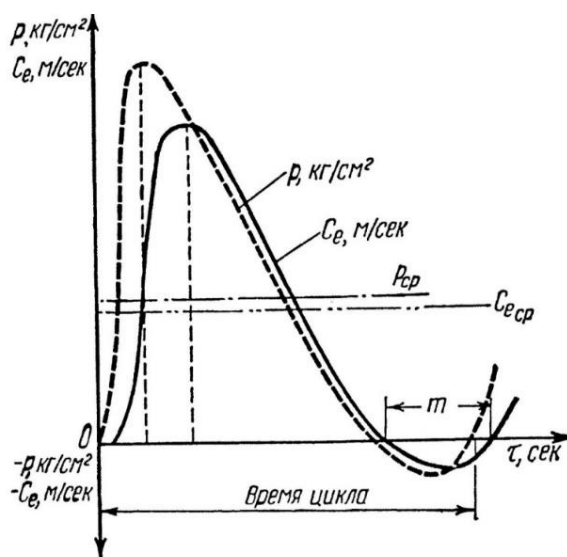


Рисунок 1 – Характер изменения давления и скорости истечения газа за цикл в ПуВРД с длинной выхлопной трубой. *Источник:* [https://мoдeлкa.pф/pulsiruiuschie\\_vozdushno-reaktivnie\\_dvigateli\\_aviamodeley.html](https://мoдeлкa.pф/pulsiruiuschie_vozdushno-reaktivnie_dvigateli_aviamodeley.html)

- Клапаны открываются и в камеру сгорания поступает воздух и горючее, образуется воздушно-топливная смесь.
- Смесь поджигается с помощью искры свечи зажигания. Образовавшееся избыточное давление закрывает клапан.

- Горячие продукты сгорания выходят через сопло, создавая реактивную тягу и технический вакуум в камере сгорания [3]. Работа ПуВРД показана на рис. 2.

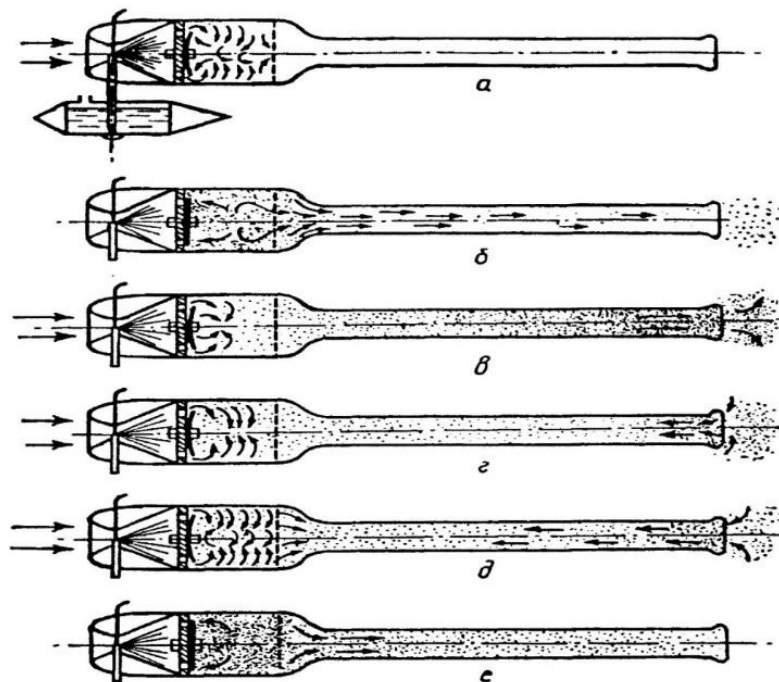


Рисунок 2 – Принципиальная схема работы ПуВРД. *Источник:* [https://моделка.рф/pulsiruiuschie\\_vozdushno-reaktivnie\\_dvigateli\\_aviamodeley.html](https://моделка.рф/pulsiruiuschie_vozdushno-reaktivnie_dvigateli_aviamodeley.html)

ПуВРД обладает большим удельным импульсом по сравнению с ракетными двигателями, но уступает по этому показателю турбореактивным двигателям. Существенным ограничением является также то, что этот двигатель требует разгона до рабочей скорости 100 м/с и его использование ограничено скоростью порядка 250 м/с [3].

Характеристики пульсирующего реактивного двигателя по сравнению с другими. Существует ошибочное представление, что функционирование пульсирующего реактивного двигателя при нулевой скорости движения аппарата невозможно. Большинство пульсирующих реактивных двигателей (в отличие от ПВРД) может работать, «стоя на месте» (без набегающего потока воздуха), хотя тяга, развиваемая им в этом режиме, минимальна [1].

Функционирование двигателя в этом случае объясняется следующим образом. Когда давление в камере после очередного импульса снижается до атмосферного, движение газа в сопле по инерции продолжается, и это приводит к понижению давления в камере до уровня ниже атмосферного. Когда воздушный клапан открывается под воздействием атмосферного давления (на что тоже требуется некоторое время), в камере уже создано достаточное разрежение, чтобы двигатель мог «вдохнуть свежего воздуха» в количестве, необходимом для продолжения следующего цикла. Ракетные двигатели помимо тяги характеризуются удельным импульсом, являющимся показателем степени совершенства или качества двигателя. Этот показатель является также мерой

экономичности двигателя. В приведённой ниже в графике (рис. 3) представлены верхние значения этого показателя для разных типов реактивных двигателей, в зависимости от скорости полёта, выраженной в форме числа Маха, что позволяет видеть область применимости каждого типа двигателей [1].

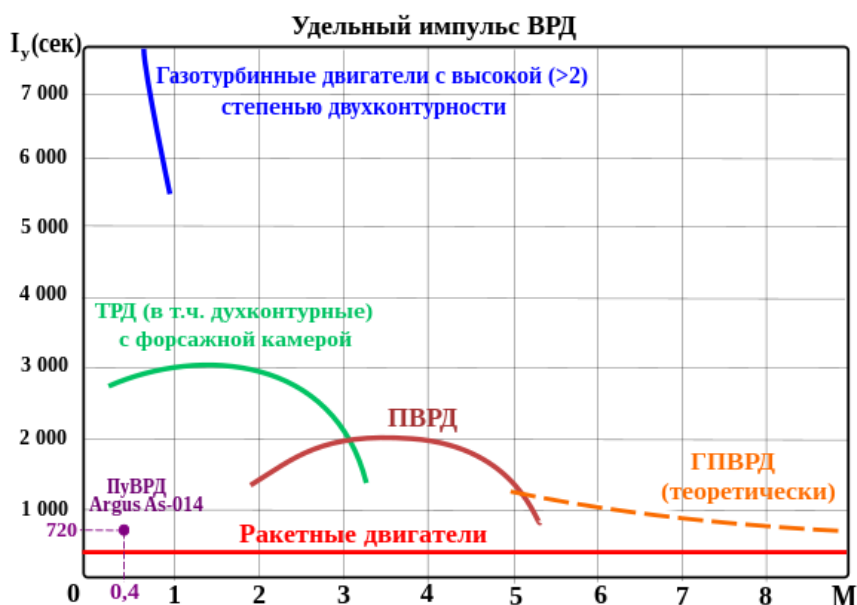


Рисунок 3 – Удельный импульс ВРД

ПуВРД – Пульсирующий воздушно-реактивный двигатель, ТРД – Турбореактивный двигатель, ПВРД – Прямоточный воздушно-реактивный двигатель, ГПВРД – Гиперзвуковой прямоточный воздушно-реактивный двигатель. Двигатели характеризуют рядом параметров:

- удельная тяга – отношение создаваемой двигателем тяги к массовому расходу топлива;
- удельная тяга по весу – отношение тяги двигателя к весу двигателя.

В отличие от ракетных двигателей, тяга которых не зависит от скорости движения ракеты, тяга воздушно-реактивных двигателей (ВРД) сильно зависит от параметров полёта – высоты и скорости. Пока не удалось создать универсальный ВРД, поэтому эти двигатели рассчитываются под определенный диапазон рабочих высот и скоростей, показано в таблице 1. Как правило, разгон ВРД до рабочего диапазона скоростей осуществляется самим носителем либо стартовым ускорителем [1].

Таблица 1 – Характеристика двигателей

Характеристика	РДТТ	ЖРД	ПуВРД	ТРД	ПВРД	ГПВРД
Рабочий диапазон скоростей, число Маха	не ограничен		0,3-0,8	0-3	1,5-5	>5
Удельная тяга, м/с	2000-3000	2000-4000	~7000	15000-30000		
Удельная тяга по весу	нет	~100		~10		

Пульсирующий реактивный двигатель широко используется в авиации и космической технике для создания мощности и тяги. Они также могут использоваться в коммерческих и промышленных целях для привода насосов, компрессоров, генераторов и других устройств, где требуется высокая скорость вращения и мощность. ПуВРД характеризуется как шумный и неэкономный, зато простой и дешёвый. Высокий уровень шума и вибрации вытекает из самого пульсирующего режима его работы. О неэкономном характере использования топлива свидетельствует обширный факел, «бьющий» из сопла ПуВРД – следствие неполного сгорания топлива в камере. Сравнение ПуВРД с другими авиационными двигателями позволяет довольно точно определить область его применимости. ПуВРД во много раз дешевле в производстве, чем газотурбинный или поршневой ДВС, поэтому при одноразовом применении он выигрывает экономически у них (разумеется, при условии, что он «справляется» с их работой). При длительной эксплуатации аппарата многократного использования, ПуВРД проигрывает экономически этим же двигателям из-за расточительного расхода топлива [1].

По простоте и дешевизне ПВРД практически не уступает ПуВРД, но на скоростях менее 0,5М (600 км/ч) он неработоспособен. На более высоких скоростях ПВРД превосходит по эффективности ПуВРД (при закрытом клапане резко возрастает лобовое сопротивление ПуВРД и на околозвуковых скоростях оно «съедает» почти всю тягу, создаваемую этим двигателем) [1].

Совокупность этих обстоятельств и определяет ту нишу, в которой находит применение ПуВРД – беспилотные летательные аппараты одноразового применения с рабочими скоростями до 0,5 М, летающие мишени, беспилотные разведчики. По тем же причинам двигатель также применяется в авиамоделизме. Благодаря простоте и дешевизне ПуВРД имеют распространение в любительской авиации и авиамоделировании. Маленькие двигатели этого типа стали очень популярны среди авиамodelистов и в любительской авиации. По этой причине появились коммерческие фирмы, производящие на продажу для этих целей ПуВРД и клапаны к ним (быстроизнашивающаяся запчасть). ПуВРД может использоваться не только в качестве двигателя, но и в качестве стационарной установки для генерации тепла [1].

Недостатки ПуВРД [2]:

- Повышенный уровень шума при работе.
- Неэкономный расход топлива, неполное его сгорание.
- Ограниченность по скорости.
- Уязвимость некоторых конструктивных элементов.

Основными преимуществами пульсирующих воздушно-реактивных двигателей можно считать:

– Их простую конструкцию, что тянет за собой их невысокую стоимость. Именно эти качества и стали причиной их использования в качестве силовых агрегатов на военных ракетах, беспилотных самолетах, летающих мишенях, где важны не долговечность и сверхскорость, а возможность

установки простого, легкого и дешевого мотора, способного развить нужную скорость и доставить объект к цели [2].

- Повторяемость работы. Благодаря особенностям принципа работы ПуВРД этот двигатель обладает высокой повторяемостью работы, что позволяет достичь высокой точности в управлении [4].

- Маневренность. ПуВРД имеет высокую маневренность благодаря возможности изменять направление движения выброса воздуха [4].

- Эффективность. В отличие от других типов двигателей, ПуВРД позволяет значительно увеличить аэродинамические характеристики беспилотника за счет уменьшения размеров и массы двигателя [4].

- Высокая скорость. ПуВРД позволяет достичь высоких скоростей благодаря возможности генерировать большую тягу без увеличения размеров и массы двигателя [4].

Преимущества перед другими двигателями:

- Высокая мощность: ПуВРД обладает высоким уровнем мощности, что обусловлено интенсивностью потока газов, создаваемых при работе двигателя.

- Высокая скорость: обладая высокой мощностью ПуВРД способен обеспечить высокую скорость беспилотного летательного аппарата, что открывает дополнительные возможности в области авиационной и космической техники.

- Экономичность: благодаря эффективной работе двигателя и высокой мощности, ПуВРД является достаточно экономичным в эксплуатации, что обеспечивает полет на большие расстояния для беспилотной авиации.

- Надежность: конструктивные особенности двигателя обеспечивают высокую надежность и долговечность.

- Простота конструкции: ПуВРД имеет простую конструкцию и меньше деталей, что облегчает его изготовление и обслуживание на беспилотниках.

- Применение: ПуВРД широко используются в беспилотной авиации, космосе, ракетостроении. Они также могут быть использованы в гражданской технике, такой как генераторы тепла и энергии.

- Экологическая безопасность: ПуВРД имеет меньший уровень выбросов вредных веществ в атмосферу, чем другие типы двигателей, что повышает его экологическую безопасность.

ПуВРД отличается высокой эффективностью и экономичностью по сравнению с традиционными двигателями. Однако, данный двигатель может иметь влияние на окружающую среду, а также создавать определенные риски для безопасности полетов.

1. Шумовое загрязнение. ПуВРД создает высокий уровень шума, который может влиять на здоровье людей, животных и окружающую среду. Поэтому необходимо учитывать правовые нормативы, ограничения и рекомендации по уровню шума при создании и испытании ПуВРД.

2. Воздействие на атмосферу. При работе ПуВРД в атмосферу выбрасываются продукты сгорания топлива, которые могут загрязнять окружающую среду. Поэтому необходимо соблюдать экологические

требования и использовать более экологичное топливо, чтобы минимизировать вредное воздействие на окружающую среду.

3. Безопасность полетов. ПуВРД имеет отличительную особенность – непрерывный взрывоопасный процесс. Поэтому необходимо проводить тщательные испытания, проверки и мониторинг работы, чтобы гарантировать безопасность полетов и исключить возможность возникновения аварийных ситуаций.

4. Пониженный уровень выбросов. ПуВРД имеет небольшой уровень выбросов в сравнении со стандартными двигателями. Благодаря специфическому принципу работы двигатель не тратит топливо на обеспечение стабильного холостого хода и минимизирует выбросы.

Итак, влияние на окружающую среду и безопасность полетов – важные аспекты, которые необходимо учитывать при разработке и эксплуатации ПуВРД. Однако, с учетом всех ограничений и рекомендаций, данный двигатель может стать надежным и экологичным вариантом для беспилотной авиации в будущем.

Перспективы развития технологии: Одним из основных направлений развития ПуВРД является увеличение их мощности и эффективности. Для этого необходимо совершенствовать технологии производства материалов для деталей двигателей, а также улучшать системы управления процессами работы двигателя. ПуВРД находят применение в различных областях, включая беспилотную авиацию, летную промышленность, оружейное дело, транспортировку грузов и тому подобные отрасли. Однако, развитие технологии может привести к появлению новых ниш для применения двигателей.

Наконец, одно из главных направлений развития ПуВРД заключается в развитии беспилотной авиации и улучшении экологических показателей их работы в ближайшем будущем. Это может быть достигнуто через разработку новых беспилотных систем и разработку систем фильтрации выхлопных газов, а также использование более экологически чистого топлива.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пульсирующий воздушно-реактивный двигатель // [Электронный ресурс]. – 2023. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Пульсирующий\\_воздушно-реактивный\\_двигатель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Пульсирующий_воздушно-реактивный_двигатель) (дата обращения: 16.11.2023)
2. Пульсирующий воздушно-реактивный двигатель. Хорошо забытое старое: от Фау до наших дней//[Электронный ресурс].–2021. – URL: <https://naukatehnika.com/pulsiruyushij-vozdushno-reaktivnyj-dvigatel-puvrd.html> (дата обращения: 15.11.2023)
3. Бородин В.А.-Авиамодельный пульсирующий воздушно-реактивный двигатель – Москва: Издательство ДОСААФ, 1968. – 102 с.
4. Пульсирующий воздушно-реактивный двигатель//[Электронный ресурс].– 2022. – URL: <https://samoletos.ru/prochee/pulsirujushhij-vozdushno-reaktivnyj-dvigatel> (дата обращения 15.11.2023)

## ЭЛЕКТРОННАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЗАРЯДНОЙ СТАНЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ТИПА БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Пашенцева Д. О., Портнов М. А.

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** Работа направлена на решение актуальной на сегодняшний день проблемы в беспилотной авиации – обеспечение непрерывности технологического процесса. Она посвящена оптимизации процесса заряда аккумуляторных батарей беспилотного летательного аппарата. Применение зарядной станции параллельного типа позволит одновременно производить заряд всего комплекта аккумуляторных батарей беспилотной авиационной системы. Это позволит сократить время подготовки беспилотной авиационной системы к выполнению полетного задания в рамках полетной смены и снизить нагрузку на экипаж в день подготовки к летной смене.

В статье представлена разработка управления для зарядной станции параллельного типа. В схемном решении применены современные цифровые технологии, использующие алгоритмический подход в управлении технологическими процессами.

**Ключевые слова:** беспилотная авиация, беспилотный летательный аппарат, зарядная станция параллельного типа.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) являются одним из наиболее перспективных видов авиационной техники. Они входят в состав авиационных комплексов Вооруженных Сил Российской Федерации и силовых ведомств. БПЛА применяют и в гражданском секторе коммерческие предприятия и частные лица. Изготовление БПЛА относится к самым высокотехнологичным производствам авиационной отрасли, составляет основу технологической самостоятельности национального авиастроения.

Корректное функционирование БПЛА во многом зависит от того, насколько правильно подобрана для него аккумуляторная батарея.

В настоящее время в беспилотных авиационных системах используется два основных вида литиевых аккумуляторов – это литий-ионные полимерные аккумуляторы и литий-ионные железо-фосфатные аккумуляторы.

Аккумуляторы литиевой группы, как источники тока, характеризуются основными параметрами:

- электродвижущей силой и напряжением под нагрузкой;
- емкостью и внутренним сопротивлением;
- зарядно-разрядной характеристикой;
- диапазоном эксплуатационных температур;
- габаритными размерами, массой, типом корпуса и сроком службы.

Номинальное напряжение ячейки литий-полимерного аккумулятора составляет – 3,7 В, а ячейки литий железо-фосфатного 3,2 В.



При проектировании зарядных станций для всех литий-ионных АКБ общими требованиями являются обеспечения безопасности и удобства эксплуатации.

Таким образом электронная схема управления зарядной станции параллельного типа должна обеспечивать:

- быструю и безопасную скорость заряда;
- балансировку ячеек АКБ;
- тренировку ячеек АКБ;
- диагностику АКБ;
- перевод АКБ в режим хранения.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики аккумуляторных батарей литиевой группы

Модель	Li-Ion 18650-2500	Li-Pol 1159156- 10000 (Geoscan 101)	LiFePO4 10110140-10000
Номинальная емкость (мАч)	2500	10000	10000
Напряжение одной ячейки, (В)	3,7	3,7	3,2
Разрядный ток (С) ном./пик.	1/10	5/25	35/70
Зарядный(С) ном./пик.	0,1/0,3	0,1/0,5	0,3/0,7
Вес (гр)	46	210	280
Рабочая температура	-10 ÷ +40	-20 ÷ +40	-40 ÷ +45
Кол-во циклов заряда	1000	500	700
Энергоэффективность	53	48	36

Производителями Li-ion аккумуляторов предусмотрено два режима заряда АКБ: заряд постоянным током и заряд постоянным напряжением.

На графике (см. рис. 1) приведены эпюры токов и напряжений при заряде АКБ на примере отдельной ячейки. Первый и второй этапы относятся к режиму заряда постоянным током. Выбор уровня тока заряда обусловлен начальными условиями, характеризующими состояние аккумуляторной батареи. Первый, начальный этап заряда используется при сильно разряженном аккумуляторе с напряжением ячейки менее 3,2 В или во время заряда при низкой температуре от +5 и ниже.

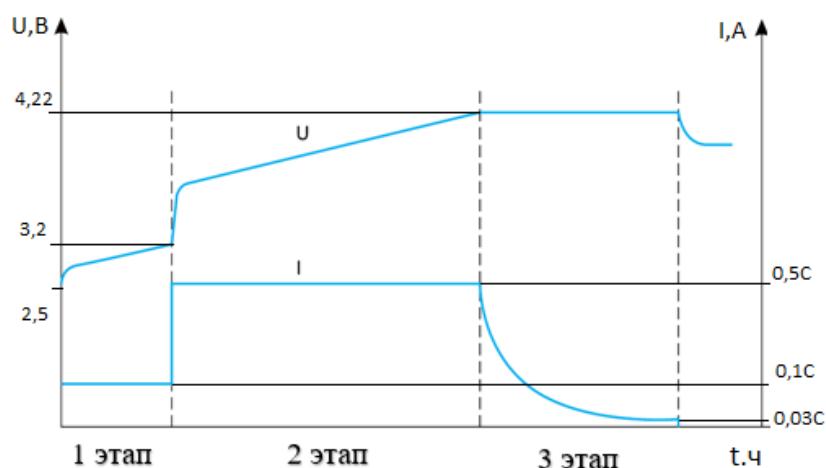


Рисунок 1 – Метод накопления энергии в АКБ литиевой группы

Заряд производится постоянным током в 0,1 С до напряжения 3,2 В, после чего ток заряда может быть увеличен до 0,5-1 С. Этот режим продолжается до уровня 4,12 В.

Далее процесс заряда продолжается с установкой на клеммах АКБ постоянного напряжения 4,22 В. Процесс заряда завершается падением зарядного тока до уровня 0,03 С, где С номинальная емкость АКБ в миллиампер часах.

Процесс заряда сопровождается контролем температуры АКБ, она не должна превышать более 55 Градусов.

Для организации параллельного заряда структурная схема (см. рис. 2) зарядной станции параллельного типа для беспилотной авиационной системы должна включать однотипные, индивидуальные модули заряда (ИМЗ) по количеству каналов, силовой источник питания (СИП) и электронную схему управления (ЭСУ).

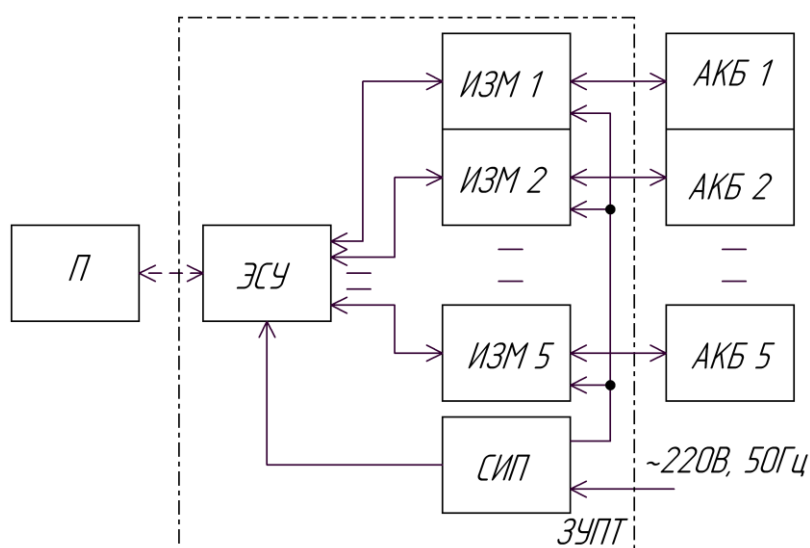


Рисунок 2 – Структурная схема зарядной станции параллельного типа для беспилотной авиационной системы

Пользователь после подключения к индивидуальным зарядным модулям аккумуляторов подает внешнее напряжение на силовой блок питания, после чего зарядная станция готова к выполнению своих функций. С помощью электронной схемы управления пользователь управляет режимом работы зарядной станции. Режимов работы три – это заряд, хранение, диагностика и балансировка ячеек АКБ. В зависимости от выбранного режима работы электронная схема управления формирует последовательность управляющих воздействий для управления индивидуальными зарядными модулями, основной задачей которых является поддержание заданных значений тока и напряжения на клеммах АКБ.

Электронная схема управления функционально состоит из двух основных элементов (см. рис. 3): модуля интерфейса, в состав которого входят дисплей с сенсорной панелью и контроллер шины USB для связи с ЭВМ. Основным функциональным элементом является микроконтроллер, включающий в свой состав: вычислительный блок (ВУ); регистры ввода-вывода (РВВ); программную память (ПП); генератор тактовых импульсов (ГТИ) и схему контроля питания (СКП).

С появлением питания схема контроля питания (СКП) и генератор тактовых импульсов (ГТИ) начинают свою работу, инициализируя вычислительное устройство (ВУ) на загрузку основной рабочей подпрограммы из программной памяти (ПП). Основная подпрограмма, алгоритм вычислительного устройства, работает циклически. Пользователь через модуль интерфейса воздействует на алгоритм, который в ответ формирует исполнительные команды для работы индивидуальных зарядных модулей. Коррекция работы алгоритма производится по возвращаемой, измеряемой индивидуальными зарядными модулями, информации о текущем состоянии АКБ.

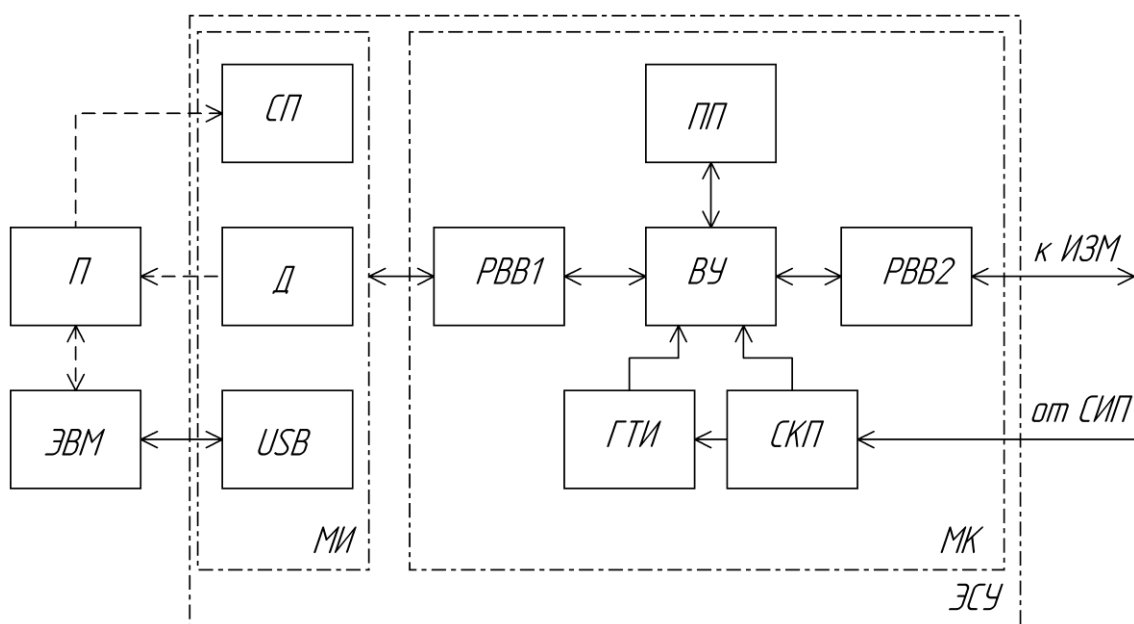
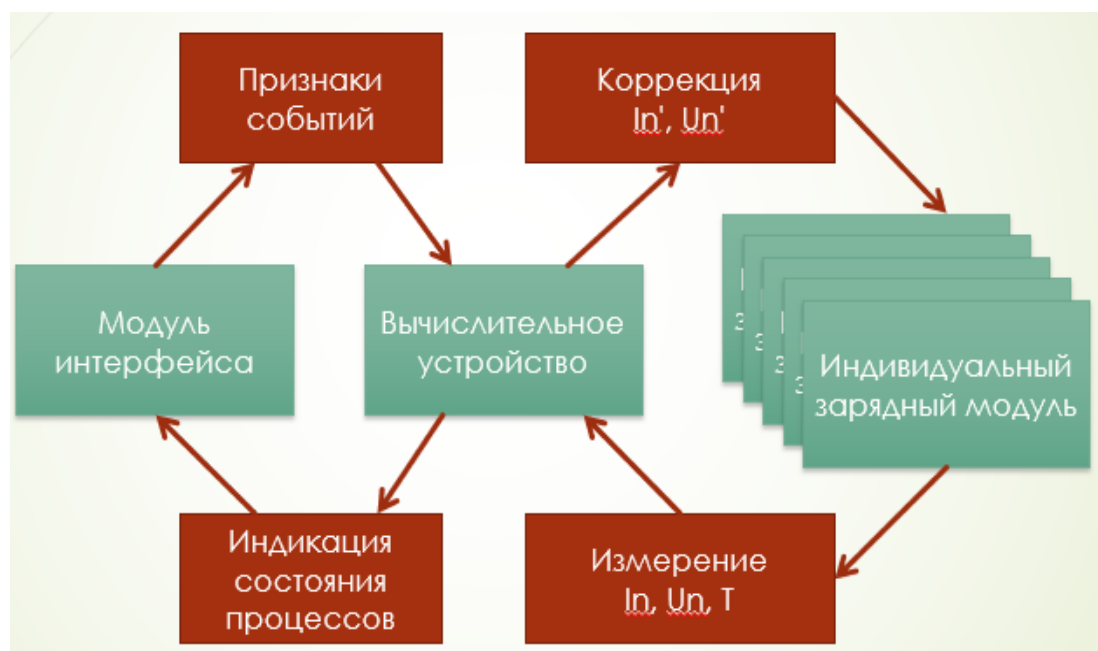


Рисунок 3 – Функциональная схема электронной схемы управления

В качестве транслятора (см. рис. 4) значений и команд выступают файловые таблицы, в которых размещаются переменные (признаки) режимов работы индивидуального зарядного модуля, хранятся измеренные и корректируемые значения параметров тока и напряжения для каждого АКБ.



- Таблица (транслятор)
- Аппаратная часть схемы

Рисунок 4 – Принцип обмена информацией между функциональными элементами электронной схемы управления

Для реализации функционального алгоритма была разработана принципиальная электрическая схема (см. рис. 5) электронной схемы управления. Ее реализация опирается на стандартные схемы включения используемых электронных компонентов. Модуль интерфейса реализован на распространенном графическом дисплее ILI9341, совмещенном с резистивной сенсорной панелью. В качестве вычислителя выбран микроконтроллер фирмы Atmel AT328P. Оба эти компонента питаются стабилизированным напряжением, формируемым элементом DA1. Через разъем X1 организуется подключение к ЭВМ для дистанционного управления зарядным устройством или обновления программы управления. Через разъем X2 производится связь электронной схемы управления с индивидуальными зарядными модулями по трехпроводной цифровой шине SPI. Через разъем X3 к электронной схеме управления поступает напряжение питания от силового источника питания.

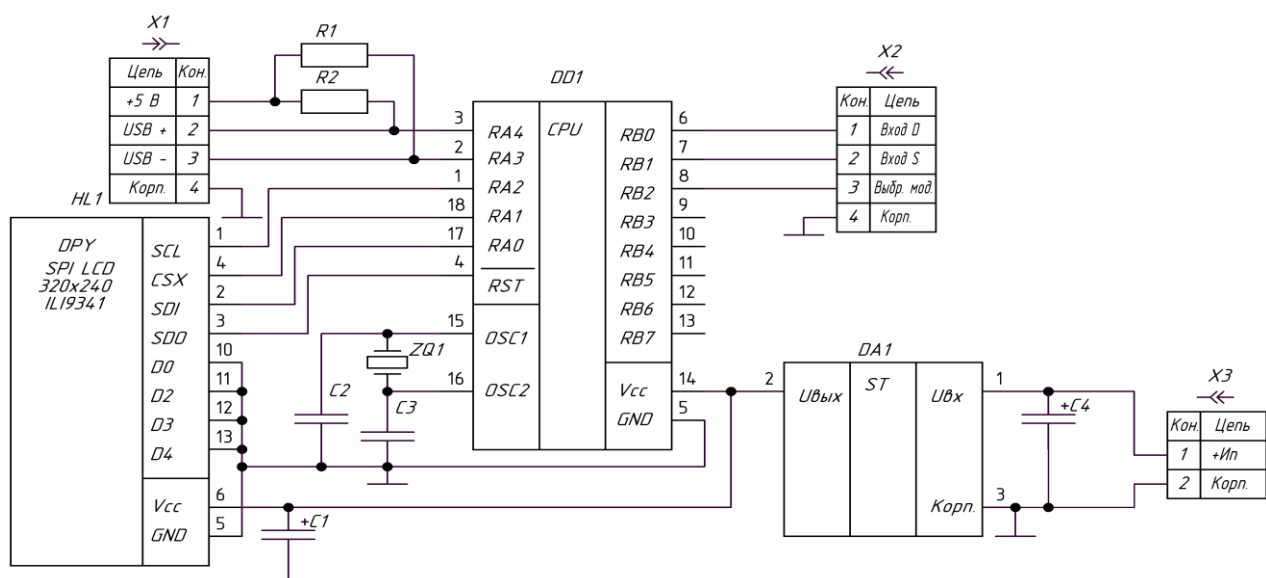


Рисунок 5 – Принципиальная электрическая схема электронной схемы управления

Подводя итог проделанной работе, следует напомнить, что был проведен анализ сравнительных характеристик аккумуляторных батарей литиевой группы, анализ методов и алгоритмов накопления энергии в аккумуляторных батареях литиевой группы, разработана структурная схема ЗС параллельного типа, разработаны функциональная и принципиальная схемы ЭСУ ЗС.

Дальнейшая реализация разработанной электронной схемы управления позволит организовать параллельный заряд всех АКБ, входящих в комплект БАС, что существенно сокращает время, отводимое на подготовку БАС к полетной смене. Это позволяет снизить себестоимость авиационных работ, производимых с применением беспилотной авиации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кедринский И. А. Литий-ионные аккумуляторы / И. А. Кедринский, В. Г. Яковлев. – Красноярск: Платина, 2002. – 268 с.
2. Лебедев А. Е. Актуальность использования литиево-полимерных батарей в современном оборудовании. – 150 с.
3. Рыкованов А. Системы баланса Li-ion аккумуляторных батарей / А. Рыкованов // Силовая электроника. – 2009. – № 19. – С. 52-55. – EDN MVRUXB.
4. Рыкованов А. Способы балансирования портативных железо-фосфатных Li-ion аккумуляторных батарей / А. Рыкованов // Компоненты и технологии. – 2012. – № 10(135). – С. 86-88. – EDN PCJBAR.

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ. ВОДОРОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Рябчинская П. Д., Курочкин С. О.

Левшонков Н. В., канд. техн. наук  
(научный руководитель)

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева – КАИ  
(г. Казань)*

**Аннотация.** Данная статья посвящена исследованию альтернативных источников энергии для летательных аппаратов с основным акцентом на водородные элементы в беспилотных воздушных судах. С увеличением интереса к снижению выбросов в атмосферу и созданию более устойчивых авиационных решений водородные элементы представляют собой перспективное решение для современной и будущей авиации. Эта статья обосновывает актуальность и значимость разработок в области альтернативных источников энергии для летательных аппаратов.

**Ключевые слова:** водородные элементы, альтернативные источники энергии для летательных аппаратов, экологически чистый способ полета, беспилотные воздушные суда, увеличение эффективности работы беспилотных воздушных судов.

Летательные аппараты, включая самолеты, вертолеты и беспилотные воздушные суда, всегда требуют эффективных и надежных источников энергии для полета. В последние десятилетия научные и инженерные сообщества уделяют все большее внимание альтернативным источникам энергии, чтобы снизить зависимость от ископаемых топлив, снизить воздействие авиации на окружающую среду и уменьшить объем выбросов, получающихся в результате работы силовых установок воздушных судов, так как в современном мире проблемы, связанные с изменением климата и истощением природных ресурсов, становятся более острыми, а разработка и использование альтернативных источников энергии становится неотъемлемой частью нашего будущего. Одним из наиболее многообещающих альтернативных источников энергии для летательных аппаратов являются водородные элементы. В прогнозе потребление водорода к 2050 году может вырасти до 700 млн тонн в год, что в 6 раз выше нынешнего уровня. Это составит 24 % от величины конечного потребления энергии в мире.

Водородная энергетика – это отрасль энергетики, которая основана на использовании водорода как средства для зарядки, транспортировки и производства и получения энергии. Водород ( $H_2$ )-самый обильный элемент в природе, теплота сгорания которого максимальна. Удельная теплота сгорания водорода составляет примерно 140 МДж/кг (верхняя) или 120 МДж/кг (нижняя), что в несколько раз превышает удельную теплоту сгорания

углеводородных топлив. Его использование в качестве источника энергии обещает значительное снижение выбросов углерода (С) и других загрязнений в сравнении с традиционными источниками топлива, такими как керосин и бензин. При получении водорода с помощью возобновляемых источников энергии водородная энергетика считается альтернативной.

Существуют несколько способов получения водорода:

– Паровая конверсия метана и его гомологов – получение водорода происходит в две стадии. После первого этапа продукт содержит около 10% метана (его гомологов) и для дальнейшей реакции добавляют атмосферный воздух. Вторая стадия включает в себя очищение водорода от кислорода (O<sub>2</sub>) и оксидов углерода (СО, СО<sub>2</sub>), полученное избыточное тепло используется для получения водяного пара.

– Газификация кокса – это процесс, при котором перегретый водяной пар пропускают через слой кокса, каменного или бурого углей при температуре более 1000 °С без доступа кислорода. Полученная смесь водорода и окиси углерода обрабатывается водяным паром.

– Электролитическое разложение воды – процесс, при котором при пропускании постоянного тока на катоде выделяется водород. Вторичный продукт реакции – кислород. Доочистка дает возможность получить на выходе технически и химически чистый водород. Этот процесс может осуществляться с использованием возобновляемых источников энергии, таких как солнечная или ветровая энергия, что делает его еще более экологически чистым.

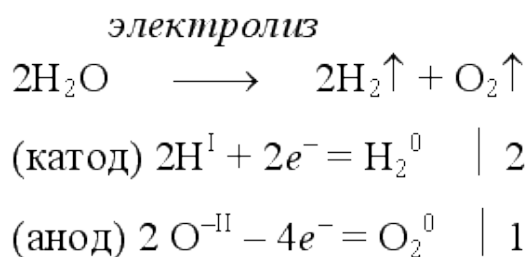


Рисунок 1 – Электролиз воды

Водородные элементы для летательных аппаратов могут быть использованы в различных формах:

– Водородные топливные элементы.

Водородные топливные элементы (Hydrogen Fuel Cells) представляют собой систему, в которой при сгорании топлива не происходит изменений в химическом составе электролитов и электродов. Принцип работы водородного топливного элемента основан на том, что водород освобождает электроны, которые взаимодействуют с кислородом для производства электроэнергии, где побочным продуктом реакции является пар. Иногда вместе чистого водорода могут использовать соединения с большим количеством водорода, например, метан (СН<sub>4</sub>) или метанол (СН<sub>3</sub>ОН), но в таком случае эффективность будет ниже, а в процессе сгорания будет образовываться углекислый газ (СО<sub>2</sub>). Таким

образом, водородные топливные элементы – это система, которая конвертирует химическую энергию водорода и кислорода в электрическую энергию, которая затем питает электрические моторы летательного аппарата. Эта технология является очень эффективной и производит только водяной пар и тепло как побочные продукты, что делает ее экологически чистой.

– Водородные двигатели внутреннего сгорания.

Водород также может быть использован как топливо в двигателях внутреннего сгорания (Internal Combustion Engines). Принцип действия основан на том, что сжатый водород поступает в топливный элемент, где находится мембрана, разделяющая камеры катода с анодом. На катод поступает кислород, а на анод – водород. Электроды покрыты слоем катализатора, например, платиной (Pt), в результате водород теряет электроны. Через мембрану на катод попадают протоны. В результате их взаимодействия с электронами образуется энергия и водяной пар. Таким образом, водородные двигатели внутреннего сгорания основаны на том, что водород сжигается в двигателе, производя механическую энергию для приведения в движение летательного аппарата. Водородные двигатели способствуют снижению выбросов углекислого газа, так как результатом становится вода вместо токсичных выхлопных газов.

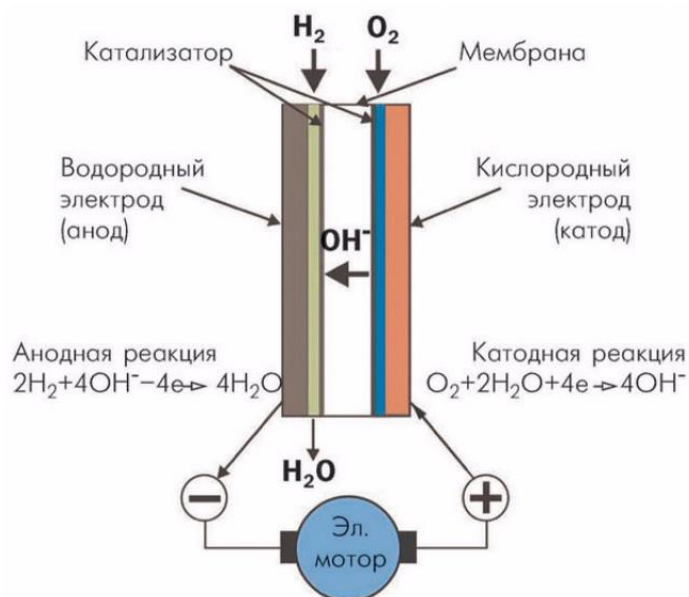


Рисунок 2 – Принцип действия водородного двигателя внутреннего сгорания.

Источник: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/6048e0629a794750974c67a7>

Рассмотрим использование водородного элемента для беспилотных воздушных судов (БВС). БВС – это важный инструмент в различных отраслях, включая агрокультуру, логистику, мониторинг окружающей среды и многое другое, но для реализации эффективных операций беспилотным воздушным судам необходим источник энергии, который будет обеспечивать необходимые условия для их полноценной работы. Важным ограничением использования данных видов летательных аппаратов является ограниченный радиус действия, связанный с тем, что они работают на аккумуляторах, и запас энергии в них



ограничен. В связи с этим длительные операции БВС возможны только с перезарядкой или замены батареи. Также ограниченность запасов энергии приводит к тому, что дополнительное оборудование или нагрузка невозможна и, как следствие, усложнение выполнения поставленных задач и коммерческого использования. Кроме того, на запас энергии влияют климатические факторы и погодные условия. К примеру, дождь, низкие температуры, снег приводят к сокращению времени полета беспилотного воздушного судна. Для продолжения выполнения поставленных задач БВС необходима инфраструктура для зарядки, что является сложностью в отдаленных или труднодоступных районах, где доступ к сети электроснабжения отсутствует. Эти ограничения стали причиной разработки использования водорода как топлива.

Одним из достоинств водородных элементов для беспилотных воздушных судов является их нейтральное воздействие на окружающую среду, так как продуктом реакции сжигания водорода является вода, что делает судно более экологически чистым. Также водородный топливный элемент создает низкий уровень шума, не оказывая сильное влияние на шумовое загрязнение окружающей среды. Топливные элементы имеют высокий КПД (до 60%). Водородные топливные элементы используются в беспилотных воздушных судах благодаря своей высокой энергетической плотности и возможности длительного полета без необходимости повторной зарядки по сравнению с традиционными литий-полимерными батареями, делая их идеальным вариантом для ситуаций, требующих длительного воздушное пребывание. Это увеличивает эффективность и экономичность операций и расширяет диапазон применения БВС. Принцип работы и конструкция водородных топливных элементов просты, вследствие чего химическая энергия быстро и легко преобразовывается в электричество с низким уровнем неполадок. Водородные элементы позволяют работать в различных климатических условиях, таких как низкие температуры, снег и дождь, делая БВС надежными и универсальными в использовании. Кроме того, для всех воздушных судов использование данного вида энергии приводит к уменьшению зависимости от нефти, так как замена традиционных топлив на водород приведет к снижению зависимости авиации от нефти и к сокращению рисков, связанных с нестабильностью цен на нефть. Первое воздушное судно на водороде выпустила компания Boeing, внутри которого был водородный двигатель Ford.

Но у ряда преимуществ есть свои недостатки. Основными проблемами являются хранение и транспортировка водорода, так как водород является легковоспламеняющимся газом, имеет низкую плотность, высокую реакционную способность и требует специальных контейнеров и инфраструктур. Также есть сложности и с получением водорода, так как основные способы получения сопровождаются выбросом парниковых газов, а альтернативный – дорогой и малоэффективный. Инфраструктура, позволяющая производить, хранить и использовать водород, требует значительных инвестиций для разработки материалов и технологий для безопасной эксплуатации водородных элементов. Также с экономической целесообразности использование водородных технологий является более дорогим, чем традиционные источники топлива.

Стоит отметить и проблемы, связанные с пассажирскими лайнерами. Сравнивая водород и нефть, его плотность намного ниже и объема потребуется больше. Для сохранения дальности полета судна нужно много жидкого водорода и большого объема топливных баков. При установлении баков внутри фюзеляжа сократится число посадочных мест пассажиров, а увеличение фюзеляжа или расположения их снаружи приведет к увеличению максимальной взлетной массы воздушного судна и увеличению лобового сопротивления летательного аппарата. Также подготовка лайнера к полету сопряжена с определенными сложностями оперативной подготовки (наличие необходимого объема сжиженного водорода, определенные сложности с заправкой), что может привести к снижению уровня безопасности полета.

Альтернативные источники энергии играют важную роль в развитии авиационной индустрии, обеспечивая более экологически чистый и устойчивый способ полетов. Один из наиболее перспективных альтернативных источников энергии для летательных аппаратов – водородные элементы. Использование водородных элементов для летательных аппаратов представляет собой многообещающую альтернативу традиционным источникам энергии. Их высокая энергетическая плотность, экологическая чистота и возможность использования возобновляемых источников энергии делают их идеальным выбором для будущих летательных аппаратов. Это может помочь уменьшить негативное воздействие авиации на окружающую среду и снизить зависимость от нефти, а для беспилотных воздушных судов увеличить эффективность их работы. Несмотря на вызовы, связанные с инфраструктурными проблемами, хранением и производством, развитие водородных технологий продолжается и находится на стадии разработки. Работа над развитием и внедрением таких технологий в авиацию остается важной задачей, которая требует совместных усилий и инноваций от научного и промышленного сообщества.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бусина Е. Летать долго и далеко: отечественное беспилотное воздушное судно на водородных элементах. – [Электронный ресурс] – URL: [https://dzen.ru/a/ZH8L\\_-RucQcXDsuJ](https://dzen.ru/a/ZH8L_-RucQcXDsuJ) (дата обращения: 25.11.2023)

2. Водородные энергоустановки для летательных аппаратов / Ю. Н. Шалимов, А. В. Астахов, Н. В. Брысенкова, А. В. Руссу // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2018. – № 19-21(267-269). – С. 62-71. – DOI 10.15518/isjaee.2018.19-21.062-071. – EDN YMNVPF.

3. Альтернативные источники энергии для летательных аппаратов. Водородные элементы // Водородные топливные элементы – технология будущего в автомобильной промышленности. – [Электронный ресурс] – URL: <https://knaufautomotive.com/ru/vodorodnyye-toplivnyye-elementy-tekhnologiya-budushchego-v-avtomobilnoy-promyshlennosti/> (дата обращения: 04.11.2023)

4. Альтернативные источники энергии для летательных аппаратов. Водородные элементы // Технология водородных топливных элементов. – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.donaldson.com/ru-ru/fuel-cells/technical-articles/hydrogen-fuel-cell-technology> (дата обращения: 04.11.2023)

**УДК 623.746.4-519**

# THE POTENTIAL RISKS POSED BY DRONES TO OTHER AIRCRAFT

Tikhomirova R. L.

Aristova N. S.  
(scientific supervisor)

*Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev  
(Kazan)*

**Abstract.** The article examines the statistics regarding the occurrence of collisions between manned aircraft and drones. Additionally, it explores studies regarding the aftermath of such incidents and potential preventive measures.

**Key words:** statistics, collision, manned aircraft, drones, studies, consequences, prevention.

Nowadays drones have become regular occupants of the airspace alongside airplanes and helicopters. With their rising numbers, there has been a corresponding increase in collisions and incidents involving both manned and unmanned aircraft. Statistics provided by UK Airprox Board, which investigates air traffic incidents in the UK showed (Table 1) [1]:

Table 1. Percentage Distribution by Type

Year	Drone	Model Aircraft	Balloon	Unknown	Kite
2020	58%	4%	4%	31%	2%
2021	64%	1%	10%	25%	0%
2022	75%	0%	1%	24%	0%
2023	83%	0%	0%	17%	0%

The increasing number of incidents involving drones highlights the emerging concern that they are becoming one of the primary threats to both civilian and military aviation. In response to this, the Federal Aviation Administration (FAA) has implemented regulations, such as Federal Aviation Regulations 33.76 and 33.77, engine manufacturers are required to test their engines' ability to ingest birds, water, and ice without sustaining catastrophic damage. Companies, however, have not yet been obligated to perform equivalent tests using drones [2,3]. While the FAA hasn't made an official announcement about when it will require engine manufacturers to conduct drone ingestion tests, but it has unofficially acknowledged that it's addressing the issue. While the legislative process for verifying air assets against drone strikes is still being developed, scientists worldwide are researching these collisions. The Crashworthiness for Aerospace Structures and Hybrids (CRASH)

Lab at Virginia Tech is a team of engineers who are investigating the impact of drone strikes on aircraft and studying how the consequences might vary based on the strike's location [4].

The computer-simulated tests conducted by researchers from Virginia Tech University College of Engineering are truly impressive. They have shown that an 8-kilogram unmanned quadcopter can cause severe damage to the fan blades of a turbofan engine with a 3-meter diameter in less than 1/200 seconds during takeoff. The wreckage of the drone inside the engine can reach speeds of up to 1200 kilometers per hour, leading to the potential formation of additional fragments. This can result in catastrophic engine failure as the fan crumbles and deforms the cylinder block housing (Figure 1, 2, 3) [4].

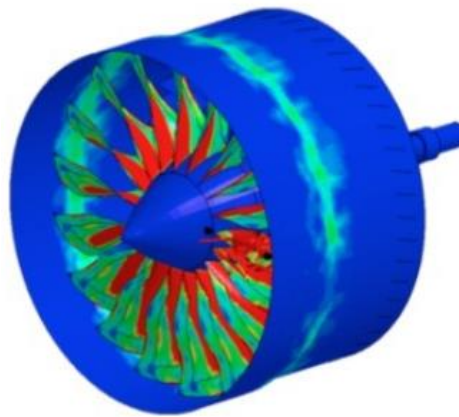


Figure1 – Engine damage 1.7 milliseconds following impact. The drone encounters significant ingestion, placing considerable stress on its engine blades

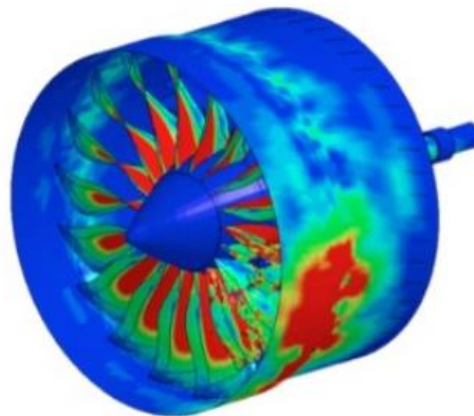


Figure 2 – Engine damage 6 milliseconds following impact. Failure of the engine blades and moving debris would exert stress on the engine casing

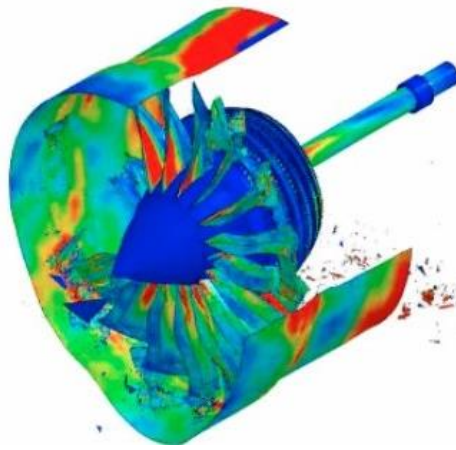


Figure 3 – Engine damage 17 milliseconds following impact. The drone has been fully consumed and there are noticeable strains on different engine parts

“Because the damage is spread to a large section of the engine, it is unlikely that it will be able to maintain thrust,” said Javid Bayandor, an associate professor of mechanical engineering at Virginia Tech and director of the university’s Crashworthiness for Aerospace Structures and Hybrids – or CRASH, for short – Laboratory [4].

Understanding the potential risks associated with drones is super important to make sure they can safely exist alongside aircraft. One of the biggest worries is drones accidentally crashing into airplanes, which can seriously damage important parts like engines or windshields. Even though drones are pretty light, even a small collision can result in disastrous consequences for an aircraft. On top of that, drones' unpredictable movements make it hard for pilots to predict where they'll be, leading to sudden evasive maneuvers that can put passengers and crew at risk. To reduce these risks, it's crucial for drone operators to follow the rules and guidelines set by aviation authorities.

The responsibility for ensuring the safety of unmanned aerial vehicles primarily rests with their manufacturers. Many drone companies are continuously enhancing their products through various means, such as:

1. Geo-fencing. Geo-fencing is a system that utilizes software to restrict the flight capabilities of unmanned aerial vehicles. It establishes virtual boundaries, like geographic coordinates or altitude limitations, that prevent the drone from flying into restricted areas or exceeding specified heights. This helps in mitigating potential safety risks and ensuring compliance with airspace regulations [5].

2. Sense-and-avoid. The sense-and-avoid system enables unmanned aerial vehicles (UAVs) to autonomously detect and avoid potential collisions with other aircraft, similar to how a human pilot would respond. This technology employs sensors, such as radar, lidar, or cameras, to perceive the surrounding airspace and identify potential hazards. If a collision risk is detected, the UAV takes evasive action, adjusting its flight path or altitude to maintain a safe distance. This capability is crucial for enhancing the safety of UAV operations and integrating them into manned airspace [6].

3. Traffic Management: One way of keeping drones and manned aircraft separate is to implement an air traffic control system similar to the one currently in use for manned aircraft [7].

4. **Mandatory Registration:** Implement a mandatory registration system for all drone users. This registration can include details such as the owner's contact information, drone specifications, and intended use. This data will help identify and track drones in the airspace and enable better coordination with manned aircraft. The registration system can be set up online or through designated registration centers, where drone owners provide their personal information, such as name, address, and contact details. Additionally, they would need to provide specific details about their drone, including make, model, serial number, and any unique identifiers [8].

5. **Education and Training:** Promote education and training programs for both drone operators and air traffic controllers to ensure their understanding of the rules and regulations related to drone operations. This will help improve safety and facilitate better coordination in the airspace [9].

In conclusion, the proliferation of drones presents a significant challenge to aviation safety, particularly with regard to the potential danger posed to other aircraft. Collisions, near-misses, and disruptions to flight operations all underscore the urgent need to address this issue. Through a combination of robust regulation, technological innovation, and public awareness initiatives, it is possible to mitigate the risks associated with drones and ensure the continued safety and efficiency of our airspace for all users. As drones continue to evolve and integrate into our daily lives, it is imperative that we proactively address the danger they pose to other aircraft, safeguarding the skies for safe and sustainable aviation operations.

## REFERENCES

1. UK Airprox Board. Small unmanned air system (SUAS) assessment // [Electronic resource]. –2023. URL: <https://www.airproxboard.org.uk/Topical-issues-and-themes/Drones/> (Accessed 28.10.2023)
2. *Gettinger D., Michel A. H.* Drone sightings and close encounters: an analysis // [Electronic resource] – 2015. URL: <https://dronecenter.bard.edu/files/2015/12/12-11-Drone-Sightings-and-Close-Encounters.pdf> (Accessed 28.10.2023)
3. eCFR. PART 33 - AIRWORTHINESS STANDARDS: AIRCRAFT ENGINES // [Electronic resource] – 2014. URL: <https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-C/part-33>(Accessed 28.03.2023)
4. Virginia Tech College of Engineering. Engineering researchers seek remedies for threat posed by drones to commercial airliners // [Electronic resource – 2015. URL: <https://vtx.vt.edu/articles/2015/10/102815-engineering-jetenginedronestrike.html> (Accessed 28.10.2023)
5. San Jose. DJI Introduces New Geofencing System for its Drones // [Electronic resource] – 2015. URL: <https://www.dji.com/newsroom/news/dji-fly-safe-system> (Accessed 28.03.2023)
6. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration. Literature Review on Detect, Sense, and Avoid Technology for Unmanned Aircraft Systems // [Electronic resource] – 2009. URL: <http://www.tc.faa.gov/its/worldpac/techrpt/ar0841.pdf> (Accessed 28.10.2023)
7. National Aeronautics and Space Administration. UAS Traffic Management (UTM) Project // [Electronic resource] – 2021. URL: <https://www.nasa.gov/utm> (Accessed 28.10.2023)
8. Do Drones Need to Be Registered? Unveiling the Truth // [Electronic resource] – 2023. URL: <https://gadjest.com/do-drone-need-to-be-registered/> (Accessed 08.11.2023)
9. The Changing Face of Drone Pilot Training and Education // [Electronic resource] – 2023. URL: <https://ts2.space/en/the-changing-face-of-drone-pilot-training-and-education/#gsc.tab=0> (Accessed 08.10.2023)

## К ВОПРОСУ О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСКОНТАКТНОЙ ДЕТЕКЦИИ НАМЕРЕНИЙ В СВЕТЕ ПРИСОЕДИНЕНИЯ К РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НОВЫХ СУБЪЕКТОВ

Хазюра Д. Р.

Каримов А. А., канд. пед. наук  
(научный руководитель)

*Восточно-Сибирский институт МВД России  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** В приведенной статье автором исследуются отдельные аспекты профайлинга (бесконтактной детекции намерений) и возможности их применения в процессе реализации органами внутренних дел функций по обеспечению транспортной безопасности.

**Ключевые слова:** профайлинг, дистанционная детекция намерений, бихевиоризм, транспортная безопасность.

Обеспечение транспортной безопасности является прямой обязанностью органов внутренних дел и является своего рода приоритетной задачей, невыполнение которой создает существенные риски для национальной безопасности. Любые инциденты, связанные с транспортной безопасностью, привлекают внимание общественности, обладают особым резонансом в средствах массовой информации и способствуют формированию негативного образа государства на международной арене. В целях обеспечения транспортной безопасности во всем мире получают развитие и распространение технические системы видеонализа, направленные на выявление признаков стресса и различных поведенческих отклонений [1].

Особую актуальность обязанность по обеспечению транспортной безопасности приобретает в свете присоединения к Российской Федерации новых территорий. Осенью 2022 года Президент России Владимир Путин подписал федеральные законы о принятии в состав Российской Федерации четырех новых субъектов: Донецкой и Луганской народных республик (ДНР и ЛНР), Запорожской и Херсонской областей [3].

Вместе с тем, несмотря на проведение законного референдума, многие страны мира отнеслись к данному событию негативно. Увеличение военной и политической мощи Российской Федерации оказывает существенное влияние на геополитическую обстановку и меняет расстановку сил на международной арене.

Большинство стран, которые высказали свое неодобрение все-же придерживаются правил международного права и действуют согласно его общепринятым нормам и принципам. Вместе с тем, Украина, не способная

достичь сколь ни будь значимых успехов в военном отношении, не гнушается применением запрещенных правил и методов ведения боевых действий, включая нанесение ударов по мирным целям, совершение террористических актов.

Одно из самых резонансных происшествий произошло 2 марта: группа диверсантов, назвавшихся «Русским добровольческим корпусом» проникли на территорию Климовского района Брянской области с территории Украины. В селе Любечане обстреляли гражданский автомобиль, в котором были дети. Водитель погиб, 11-летний местный житель Фёдор был ранен. Президент РФ Владимир Путин назвал атаку терактом, в Центре общественных связей ФСБ сообщили, что была проведена спецоперация против диверсантов, проникнувших на российскую территорию. На месте ЧП обнаружено большое количество разных взрывных устройств. В результате атак в этот день террористам удалось подорвать жилой дом, газораспределительный шкаф и водонапорную башню [4].

Необходимость реализации органами внутренних дел обязанностей по обеспечению транспортной безопасности с одной стороны и повышенный риск террористической угрозы с другой стороны обуславливает необходимость поиска путей оптимизации правоохранительной деятельности в данном направлении.

Очевидно, что для совершения террористических актов могут использоваться места массового скопления людей, такие как вокзалы, перроны, аэропорты. Совершение террористических актов в данных местах получают особый общественный резонанс, они не только сопряжены с риском для жизни большого количества людей, но и в то же время способствуют нарастанию панических настроений у населения, формированию чувства незащищенности. Именно поэтому принципиальную важность приобретают новые прогрессивные технологии, которые могут повысить эффективность обеспечения транспортной безопасности.

Частичное возложение обязанностей по проведению видеонализа на технические системы позволяет, с одной стороны, разгрузить личный состав в плане проведения мероприятий по дистанционной детекции, а с другой стороны – минимизировать человеческие факторы, могущие снизить эффективность данной деятельности (большая загруженность, усталость, нестабильное эмоциональное состояние и т.д.).

Сфера обеспечения транспортной безопасности является чрезвычайно важной и не позволяет сотрудникам правоохранительных органов рисковать, лишает их права на ошибку. Именно поэтому все человеческие факторы (отсутствие на рабочем месте специалиста-профайлера ввиду болезни или нахождения в отпуске; недостаточное количество специалистов для имеющегося пассажиропотока и др.) должны полностью исключаться для отлаживания непрерывного обеспечения дистанционной детекции.

Традиционно, системы для осуществления дистанционной поведенческой детекции разрабатываются и внедряются в Соединенных Штатах Америки, в частности, широкое распространение получила система SPOT: Screening of



Passengers by Observation Techniques, которая представляет собой продвинутую систему видеоаналитики, которая способна различать признаки стресса, поведенческие отклонения пассажиров. Даже несмотря на тот факт, что указанная система разрабатывалась с достаточно серьезными сложностями, вызванными сомнениями налогоплательщиков в ее целесообразности, ее внедрение в жизнь успешно состоялось [1].

Вместе с тем, было бы ошибочным полагать, что указанные системы разрабатываются и внедряются исключительно в США. Еще одним мировым лидером по разработке и внедрению подобных систем является Израиль [1].

Алгоритм работы вышеописанных программ основан на проведении сбора информации, передаваемой человеком невербально – через жесты, мимику, походку. Несмотря на наличие индивидуальных особенностей следует отметить общие закономерности, свойственные для людей, испытывающих страх и стресс. Системы видеоаналитики обрабатывают их, сопоставляя с заложенными в них алгоритмами, изучая признаки во всей их совокупности, что минимизирует либо практически сводит к нулю вероятность ошибки.

В случае обнаружения пассажира, который может представлять опасность, об этом сигнализируется в органы правопорядка, вышеуказанный гражданин проходит проверку документов, тщательный досмотр, а также приглашается на беседу с психологом-профайлером.

Сочетание технической системы дистанционной детекции и профессиональных навыков специалиста – профайлера позволяет осуществлять перекрестную проверку и более тщательно выявлять подозрительных пассажиров, которые могут представлять опасность.

Успешность рассматриваемых действий по дистанционной детекции напрямую зависит от двух основных факторов:

1. Эффективность внедрения современных психологических методик (главным образом – бихевиоризма, который изучает связь поведения и психического состояния) в деятельность правоохранительных органов;
2. Проведение дальнейших исследований, направленных на выявление новых методов и закономерностей дистанционной детекции поведения человека [2].

В России также имеются свои наработки по данному направлению. Так, ООО Многопрофильное предприятие «Элсис» является автором технического решения, которое обладает функционалом по выявлению потенциальных террористов в пассажиропотоке.

Потенциальная значимость рассматриваемой методики для транспортной безопасности Российской Федерации не может быть переоценена. Несмотря на достаточно дорогостоящие исследования в указанной сфере, следует отметить, что ценность человеческой жизни многократно превышает любые материальные средства. Если учесть тот факт, что террористический акт может повлечь гибель большого количества людей, а также нанести непоправимый ущерб репутации государства, целесообразность подобных исследований не вызывает сомнений.

Вместе с тем, следует особо отметить не только необходимость повсеместного внедрения подобных систем в практику деятельности правоохранительных органов, но и проведение теоретических исследований, так как в современном мире появляются все новые и новые угрозы, используется различное оборудование, что обуславливает важность повышения всесторонней готовности органов внутренних дел к разного рода формам вновь появляющихся угроз.

Помимо собственно технической оснащенности органов внутренних дел следует принимать во внимание вопросы кадровой готовности к их эксплуатации. Работа с системами видеоаналитики требует специальных знаний, умений и навыков, которые могут приобретаться сотрудниками в ходе прохождения специальных курсов, либо же в рамках отдельной учебной дисциплины в образовательных организациях системы МВД России.

Беспилотный летательный аппарат – самолет или вертолет, управляемый оператором при помощи радиосвязи на удаленном расстоянии или автономно с применением специальной полетной программы. Их возможности во многом зависят от такого параметра, как высота полета. Сегодня предел составляет 20 км, а в перспективе и до 30 км. На такой высоте беспилотный самолет может конкурировать со спутником. Отслеживая на территории площадью около миллиона квадратных километров все, что происходит, БПЛА могут взять на себя функцию слежения и выполнять в режиме реального времени в рамках целого региона.

Принимая во внимание создавшуюся политическую обстановку в Российской Федерации, целесообразно разработать беспилотные летательные судна, оснащенные системой для осуществления дистанционной поведенческой детекции. Данное техническое средство может применяться в наиболее криминогенных районах, в которых преобладают преступления террористической направленности. Беспилотное летательное средство, пролетая над скоплением людей, будет способно выявить подозрительных лиц, являющихся потенциальными террористами, основываясь на принципах бихевиоризма.

Главная задача, стоящая перед сотрудниками органов внутренних дел – защита жизни и здоровья граждан, а данная система способна упростить деятельность по выявлению и пресечению террористических актов, а также сократить количество жертв, объем ущерба и негативных последствий, причиненных Российской Федерации и ее народу.

Следует отметить, что присоединение к Российской Федерации новых территорий – это не только новые возможности, это еще и большая ответственность. Именно поэтому важность применения современных систем дистанционной детекции потенциальных правонарушителей является одним из наиболее приоритетных направлений обеспечения транспортной безопасности органами внутренних дел.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Минкин В. А. Практические результаты применения систем технического профайлинга для обеспечения безопасности на транспорте / В.А. Минкин, А. В. Целуйко / Транспортное право. – 2014. – № 3. – С. 27
2. Создание системы дистанционного бесконтактного сканирования и идентификации психофизиологического состояния человека – [Электронный ресурс] // проект 02.435.11.6002. – URL: <https://4science.ru/project/02-435-11-6002> (дата обращения: 12.11.2023)
3. Путин подписал Указ о присоединении к России новых субъектов. – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.vedomosti.ru/politics/news/2022/10/05/943935-putin-utverdil-ratifikatsiyu-dogovorov-o-prisoedinenii> (дата обращения: 08.11.2023)
4. Терракты Украины на территории РФ с начала 2023 года: предотвращенные и совершенные. – [Электронный ресурс] – URL: <https://ukraina.ru/20230503/1045904253.html> (дата обращения: 08.11.2023)

УДК 629.7

### О ВЛИЯНИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ТАКТИКУ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ

Ханларов А. М.

Каримов А. А., канд. пед. наук  
(научный руководитель)

*Восточно-Сибирский институт МВД России  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** Текст данной статьи посвящен современным вооруженным столкновениям с массовым использованием в военных целях беспилотных летательных аппаратов. Новые условия и возможности ведения боя обуславливают принципиально новую тактику ведения боя с применением беспилотных летательных аппаратов, а также действия вооружённых подразделений по противодействию беспилотным летательным аппаратам, способы защиты от нападений со стороны противника, применяющего беспилотные летательные аппараты. Статья раскрывает способы использования различных типов БПЛА в военных целях, историю их применения в современной истории некоторых вооруженных конфликтов, а также технические характеристики отдельных видов БПЛА. Авторы выделяют, что технический прогресс в области авиации и военной промышленности открывает новые горизонты для решения различного круга задач в ходе боевого применения беспилотных летательных аппаратов, позволяет сократить боевые потери и снизить уровень риска для жизни и здоровья среди личного состава.

**Ключевые слова:** беспилотник, беспилотный летательный аппарат, вооруженный конфликт, авиация, разведка, оперативно-служебные задачи, военная техника.

#### **Введение**

История применения беспилотных летательных аппаратов насчитывает более 100 лет. Для современного обывателя данный факт может показаться

выдумкой, однако уже в 1848 году впервые в истории была применена бомбардировка с помощью беспилотного летательного аппарата в ходе революции в Австрийской империи. Разумеется, данный аппарат представлял собой, на современный взгляд, весьма примитивное устройство. Шар-аэростат, наполняемый горячим дымом, с подвешенным к нему фугасным или осколочным зарядом. Начало было положено, беспилотные летательные аппараты стали настоящей угрозой, а противодействие им – новой проблемой обороняющейся стороны. В эпоху Первой Мировой Войны, наравне с танками, в активное пользование военных пришла авиация. В отличие от более ранних способов атаки противника с воздуха, летательные аппараты стали управляемыми несмотря на громоздкость и массу, однако, управляемы они были непосредственно человеком, находящимся в летательном аппарате. Вторая Мировая Война запустила серьезную гонку вооружений между мировыми державами. Лидирующее положение в области беспилотных летательных аппаратов в данной гонке занимала Германия с ее первой управляемой крылатой ракетой Фау-1. Эффект от боевого применения ракет данного типа по Лондону в 1944 году был весьма устрашающий. Дальнейшим шагом на пути развития беспилотных летательных систем стал долгий период «Холодной» войны. Первенство в данный период занимал СССР. В период с 1970 по 1980 годы было выпущено 950 экземпляров беспилотных летательных аппаратов, некоторые из которых до сих пор используются. Самолеты Ту-143 "Рейс" и Ту-141 "Стриж" считались самыми передовыми устройствами своего времени. Ту-143 "Рейс" использовался для разведки на передовой линии и наблюдения за радиационной обстановкой во время полета. После завершения миссии, самолет разворачивался и возвращался на базу, приземляясь с помощью парашютно-реактивной системы и шасси. Ту-141 "Стриж" предназначался для разведки на сверхзвуковых скоростях, оснащался приборами фотосъемки, что позволяло получать сведения о местоположении войск противника на безопасном расстоянии. С развитием технологий сфера применения беспилотных летательных аппаратов значительно расширилась, постепенно вытесняя применение локально управляемых человеком летательных аппаратов [8].

Целью данной статьи является совершенствование знаний о тактике ведения боевых действий с использованием беспилотных летательных аппаратов, а также способы противодействия угрозам безопасности личного состава и гражданских лиц, создаваемых с помощью беспилотных летательных аппаратов противника. Для достижения поставленной цели в рамках данной статьи разрешаются следующие задачи: изучить современные виды применяемых в военных целях беспилотных летательных аппаратов; изучить практику применения в современных боевых условиях беспилотных летательных аппаратов; проанализировать тактику ведения боевых действий и способы противодействия угрозам с воздуха, создаваемым при применении беспилотных летательных аппаратов.

Военное дело – один из мощнейших двигателей научно-технического прогресса. Для получения превосходства над противником комбатанты прибегают к различного рода тактикам ведения боя, комбинируя между собой средства поражения в воздухе, на земле и на воде. Для решения данной задачи перед учеными, разрабатывающими технологии для военных, всегда поднимался вопрос: как нанести наибольший урон противнику при наименьших затратах человеческого и иных ресурсов? В конце XX века ответ на данный вопрос был найден. Разработка и успешные испытания боевых беспилотных летательных аппаратов послужили толчком для многих государств к развитию промышленности в области управляемой беспилотной авиации. Обращаясь к истории вооруженных столкновений XXI века, стоит обратить внимание на Карабахский Конфликт, также именуемый в СМИ Операция «Железный Кулак». Горный характер местности, отсутствие возможности для наступления на позиции противника, занимающего стратегически важные высоты, вынудили Азербайджанскую сторону сменить тактику ведения боя. Анализируя опыт предыдущего столкновения в данном регионе, Азербайджанской стороной, при консультации с Турцией, было решено начать массовое применение для решения боевых задач ударных и разведывательных беспилотников, поставляемых Турцией [6]. Так, в ходе развертывания конфликта применялся беспилотный аппарат самолетного типа «Байрактар ТБ2», разрабатываемый в Турции. Данный беспилотник позволяет вести боевое дежурство с воздуха, поскольку длительность его нахождения в небе достигает 24 часов. Дальность управления – до 150 км. Оснащается ракетами с лазерным наведением, способными поражать движущиеся и неподвижные цели на расстоянии до 8 км [7]. Противоборствующей стороне нечего было противопоставить данному типу вооружения, поскольку беспилотники стремительны, разрушительны, незаметны для радаров ПВО, поскольку летят низко. Кроме того, беспилотник данного типа обходится значительно дешевле, чем пилотируемые самолеты-истребители, при равной эффективности решения поставленной боевой задачи. Применение данного типа вооружения стало основополагающим фактором превосходства сил одной стороны над другой и, как следствие, победы на поле боя. Массовое применение в ходе Карабахского конфликта беспилотников широко освещалось в СМИ как инновационного вооружения, позволяющего решать широкий спектр боевых задач с меньшими, по сравнению с авиацией, денежными затратами. Ввиду чего, новой страной-эксплуатантом беспилотных летательных аппаратов стала Украина. Украина закупила 6 беспилотников «Байрактар ТБ2» в 2019 году. В дальнейшем закупила до 20 турецких ударных беспилотников [4]. Внимание мировой общественности к беспилотным летательным аппаратам стало гораздо более пристальным, нежели до их массового боевого применения.

Беспилотные летательные аппараты в современных вооруженных конфликтах стали заменять собой ударную и разведывательную авиацию. Так, в ходе проведения Россией специальной военной операции на территории

Украины, Российской стороной применялись и применяются по сей день такие ударные беспилотники как «Ланцет» и «Герань-2». Беспилотники такого типа именуются камикадзе и предназначены для поражения военной техники, объектов критической инфраструктуры и живой силы противника на расстоянии до 2000 км. Также активно используются разведывательные беспилотные летательные аппараты, такие как «Орлан-10» и «Элерон», способные находиться в воздухе до 16 часов и вести видеонаблюдение в реальном времени [1]. В свою очередь, Украинской стороной применяются боевые и разведывательные беспилотные летательные аппараты, предоставленные странами НАТО. Среди них боевые ударные беспилотники «Байкрактар ТБ2» турецкого производства, дроны-камикадзе «Switchblade 600» и «UJ-22» производства США и другие.

Кроме того, в ходе проведения специальной военной операции комбатанты с обеих сторон нашли применение более дешевым аналогам разведывательных беспилотников. Для разведки с неба стали использоваться гражданские версии беспилотных летательных аппаратов. Гражданские малые беспилотные летательные аппараты практически незаметны в действии, их тяжело обнаружить и нейтрализовать до того, как они выполнят свою боевую задачу. Их используют для корректировки и наведения огня артиллерии. С их помощью даже устаревшие артиллерийские установки с большим эллипсом рассеивания. Смышленные солдаты научились применять квадрокоптеры для транспортировки малых грузов непосредственно на линии соприкосновения, даже под плотным шквалом огня. Более того, к гражданским версиям беспилотных летательных аппаратов стали прикреплять механизмы переноски и сбрасывания взрывчатых боеприпасов. Устрашение от использования такого типа вооружения имеет колоссальный характер. Противник ныне не имеет чувства защищенности, находясь в оборудованном укрытии, поскольку больше нет необходимости рисковать личным составом для прорыва линии обороны. Достаточно отправить к позициям противника несколько дронов с прикрепленными к ним взрывчатыми устройствами.

На сегодняшний день, беспилотные летательные аппараты могут управляться не только оператором, но и действовать автономно. В ходе одного из боевых действий в секторе Газа Израиль применил рой экспериментальных военных автономных беспилотных летательных аппаратов, объединённых в сеть под управлением искусственного интеллекта. Беспилотные летательные аппараты, объединенные общей системой управления, искали места дислокации вражеских подразделений и ракетных установок, а также собирали актуальные разведывательные данные о текущей обстановке на местности [2].

На современном поле боя помимо нового средства атаки и разведки появилась задача противодействию новой угрозе с воздуха. Методы борьбы с беспилотными летательными аппаратами традиционными методами противовоздушной обороны малоэффективны против беспилотников по ряду причин. Во-первых, беспилотные летательные аппараты не всегда могут быть

обнаружены радиолокационными станциями, так как летают вне диапазона действия радиоволн. Во-вторых, скорость маневрирования беспилотных летательных аппаратов значительно выше, оператор беспилотных летательных аппаратов, в отличие от пилота, не рискует испытать на себе перегрузки от перепадов атмосферного давления. В-третьих, когда беспилотный летательный аппарат все же удалось обнаружить средствами противовоздушной обороны, для нейтрализации угрозы применяются ракеты, стоимость которых значительно выше стоимости одного беспилотного летательного аппарата.

Поэтому для борьбы с беспилотными летательными аппаратами было принято вооружение нового типа. Для борьбы с БПЛА применяется несколько видов систем:

1. Системы выявления: с помощью специализированной аппаратуры сканируется воздушное пространство для обнаружения каналов связи, через которые передаются команды дронам. К системам выявления относят усовершенствованные модели радиолокационных станций (РЛС), как стационарных, так и мобильных. Обуславливается это тем, что с помощью РЛС возможно заблаговременное обнаружение беспилотного летательного аппарата в зоне действия РЛС по сравнению с оптико-электронными и акустическими средствами обнаружения.

2. Подавления: установленный источник сигнала дублируется с подменой внедрения в аппарат других команд, отводящих беспилотник на дальние участки и выводящих его из строя. Для подавления используются различные технические средства подавления навигационных систем и систем управления БПЛА (так называемые «глушилки»). Рассмотрим также лазерное оружие. Современные специалисты активно работают над созданием экспериментальных проектов, которые позволяют оснащать военную технику, такую как бронемашины, грузовики и военные корабли, твердотельными лазерными установками. Основная цель таких проектов – нейтрализация беспилотных летательных аппаратов. Лазерные установки могут работать в двух режимах. В низкоэнергетическом режиме они направлены на выведение из строя сенсоров цели беспилотника. В высокоэнергетическом режиме они способны полностью разрушить беспилотный летательный аппарат.

Дальность действия лазерных установок достигает нескольких километров. Однако, эффективность их работы может быть нестабильной и зависит от атмосферных условий. В условиях града, снега, дождя или тумана лазерные установки работают менее эффективно. Кроме использования лазерных установок, существуют и другие методы борьбы с беспилотными аппаратами. Одним из распространенных методов является использование установок для радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Такие установки компактны и по размерам меньше лазерных установок. РЭБ создают помехи между беспилотным аппаратом, его пультом управления и системой связи, что приводит к аккуратному приземлению дрона. Существует несколько видов РЭБ, которые действуют по-разному. Некоторые автоматизированные

установки обнаруживают беспилотные аппараты в определенном спектре (радарные, оптические, акустические, с радиоизлучением). Другие установки предназначены для перехвата управления дроном или создания помех в системе его управления. Также существуют установки, которые создают помехи в устройствах геопозиционирования на частотах ГЛОНАСС/GPS и в системах бортовой электроники (микроволновые модули, работающие на электромагнитных импульсах).

3. Мониторинга: специальный интерфейс, помогающий оперативно разрабатывать программу решений для защиты объекта (территории) от БПЛА [3].

Для эффективной борьбы с беспилотными летательными аппаратами противника необходимо проводить ряд мероприятий на всех этапах подготовки.

На этапе наблюдения и оповещения важно организовать посты воздушного наблюдения и систему раннего оповещения о применении беспилотных аппаратов противника. Это позволит своевременно обнаружить и отслеживать их движение, что является ключевым для успешной борьбы. На этапе тактической маскировки следует выполнять требования тактической маскировки, скрывая огневые позиции и создавая ложные позиции. Это затруднит противнику определить точное местоположение ваших сил и средств и снизит вероятность успешной атаки на них. Частая смена позиций также является важным мероприятием. Это усложнит задачу противнику в обнаружении и атаке ваших сил и средств. Смена позиций также позволит сохранить мобильность и гибкость в действиях. Соблюдение всех мер, исключающих возможность обнаружения радиотехнической разведкой, также является важным. Это включает в себя использование шумоподавляющих устройств, шифрования коммуникаций и других технических средств для защиты от радиотехнического обнаружения и прослушивания. Организация скрытия сил и средств с использованием аэрозольных завес также является эффективным методом борьбы с беспилотными аппаратами. Аэрозольные завесы создают искусственную преграду для обнаружения и атаки, затрудняя видимость и навигацию беспилотных аппаратов. Важно планировать несколько рубежей постановки аэрозольных завес с учетом направления действий противника и ветра. Это позволит максимально эффективно использовать аэрозольные завесы для защиты от беспилотных аппаратов. Также следует использовать все имеющиеся средства постановки аэрозольных завес, такие как специальные устройства или технические средства, которые позволяют быстро и эффективно создавать завесы.

В целом, эффективная борьба с беспилотными летательными аппаратами противника требует комплексного подхода и проведения мероприятий на всех этапах подготовки. Отслеживание, маскировка, смена позиций, защита от радиотехнического обнаружения и использование аэрозольных завес – все это поможет повысить эффективность борьбы с беспилотными аппаратами противника [5].



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беспилотные летательные аппараты, состоящие на вооружении Российской Армии. – [Электронный ресурс] – URL: <https://mil.ru/924gcba/equipment.htm> (дата обращения: 25.11.2023)
2. ВС Израиля применила рой БПЛА под управлением искусственного интеллекта. – [Электронный ресурс] – URL: [https://defense-update.com/20210613\\_drone-swarms.html](https://defense-update.com/20210613_drone-swarms.html) (дата обращения: 25.11.2023)
3. *Галкин Д. В.* Борьба с беспилотными летательными аппаратами: методы и средства иностранных армий / Д. В. Галкин, А. В. Степанов // Военная мысль. – 2021. – № 6. – С. 142-151. – EDN OYVUDE.
4. Иностранные БПЛА для Украины/ – [Электронный ресурс] – URL: <https://topwar.ru/194321-inostrannye-udarnye-bpla-dlja-ukrainy-bajraktary-i-zamena-dlja-nih.html> (дата обращения: 25.11.2023)
5. Методические рекомендации по организации и ведению борьбы с БПЛА для тактического уровня (УНВ ПВО ВС РФ), 2018.
6. *Привалов В. А.* Нагорно-Карабахский конфликт: особенности процесса международного урегулирования и участие в нем России (1991-2022) / В. А. Привалов // Государственное управление. Электронный вестник. – 2023. – № 96. – С. 134-147. – DOI 10.24412/2070-1381-2023-96-134-147. – EDN NXBFSA.
7. Технические характеристики беспилотного летательного аппарата «Байрактар ТБ2» – [Электронный ресурс] – URL: <https://warfiles.ru/114809-tureckiy-udarnyy-bes-pilotnik-bayraktar-tb2.html> (дата обращения: 25.11.2023)
8. *Фомичёв М. А.* История создания и развития беспилотных летательных аппаратов // Симпозиум конвергентных исследований. – 2023. – №1.

**СЕКЦИЯ**  
**«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И**  
**ЭКОНОМИКИ НА ТРАНСПОРТЕ»**

---

*Председатель – Вишнякова А. А., доцент кафедры ТЭиС ВТ, канд. социол. наук*

**УДК 65. 65-05**

**ПРОБЛЕМА ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭКИПАЖЕЙ**  
**ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

Баращенко Н. А.

Вишнякова А. А., канд. социол. наук  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА*  
*(г. Иркутск)*

**Аннотация.** Актуальность данного исследования определяется, с одной стороны, запросами практики, насущностью нерешенных вопросов в области труда летного экипажа, а с другой стороны, – готовностью науки, наличием теоретических и методических средств, методов исследования этого сложного вида труда. В статье освещаются проблемы эмоциональной устойчивости экипажей воздушного судна, результаты исследования могут быть использованы в качестве аналитических результатов в деятельности гражданской авиации.

**Ключевые слова:** эмоциональная устойчивость, летный экипаж, внештатная ситуация, безопасность полетов, стресс, напряжение, психическое здоровье.

**Введение**

Профессия пилота является одной из наиболее ответственных и рискованных специальностей. В работе пилота необходимо четкое выполнение своих функций, оперативное решение задач с наибольшей эффективностью. Профессиональная деятельность пилота воздушного судна представляет собой высокую информационную нагрузку, огромную ответственность за жизнь пассажиров и других членов экипажа, а также умение принимать решение в короткий временной промежуток в случае возникновения сложных задач. Тем самым работа летного экипажа протекает в довольно тяжелой обстановке и сильной эмоциональной напряженности, что нередко вызывает развитие стресса. Проблема исследования профессиональной идентичности пилотов связана с необходимостью более глубокого анализа факторов профессионализации, как на этапе первичной профессиональной адаптации, так и на этапе достижения профессионализма с учетом профессиональных деформаций.

Эмоциональная устойчивость – это способность человека эффективно справляться с эмоциональными вызовами и стрессовыми ситуациями. Это означает, что даже в сложных ситуациях люди с высокой эмоциональной устойчивостью остаются сдержанными, спокойными, контролируют свои эмоции, принимают рациональные решения и сохраняют продуктивность и эффективность [3].

Для пилота воздушного судна эмоциональная устойчивость является важным качеством, так как работа в авиации часто связана с высокими уровнями стресса и требует принятия решений в критических ситуациях. Пилоту приходится сталкиваться с неожиданными событиями, техническими поломками, плохой погодой, а также быть ответственным за безопасность пассажиров. Высокая эмоциональная устойчивость у пилота помогает сохранять ясность ума и способность принимать решения даже при стрессовых ситуациях. Они могут оставаться спокойными и сосредоточенными, что способствует принятию правильных решений и управлению ситуацией. Эмоциональная устойчивость также помогает пилоту эффективно справляться с возможными неудачами или ошибками. Они не дают отрицательным эмоциям повлиять на свою производительность и способность исправить ситуацию. Это способствует улучшению безопасности полетов и поддержанию профессиональной репутации пилота.

Наконец, эмоциональная устойчивость также способствует поддержанию хороших отношений с коллегами по работе, командой и пассажирами. Пилот с высокой эмоциональной устойчивостью способен эффективно общаться, решать конфликты и поддерживать хорошую командную работу. Эмоциональная устойчивость является важным качеством пилота, которое помогает им справляться со стрессом и принимать эффективные решения в сложных ситуациях [1].

Навык стрессоустойчивости относится к одному из трех базовых навыков психики. Базовые навыки психики: навыки коммуникации, навыки управления эмоциями и навык стрессоустойчивости. Поэтому экипажу необходимо владеть всеми тремя навыками, чтобы в случае внештатной ситуации оставаться в «холодном уме» и быть психически здоровым человеком. Также обладание этими тремя навыками позволит значительно увеличить качество жизни. Ведь, когда человек находится в состоянии стресса, уровень гормона стресса кортизола в его крови повышен. Этот гормон вырабатывается надпочечниками. Также надпочечниками вырабатываются и другие гормоны стресса – это адреналин, норадреналин. Из-за этого человек может испытывать физические признаки тревоги, такие как мышечное напряжение, бессонница, сердцебиение, учащенное дыхание, головная боль, отсутствие аппетита и другие. Также на эмоциональном уровне мы испытываем тревогу либо же какую-то любую другую очень сильную эмоцию. Например, злость – когда нас очень что-то или кто-то бесит или же, например, очень сильную грусть и тоску, особенно в случае чрезвычайной ситуации.

В свою очередь, повышенный уровень кортизола в крови и тревога или любая сильная негативная эмоция, которую мы испытываем, заставляет нас

много думать негативных мыслей, которые мы постоянно прокручиваем у себя в голове. Это нормальная приспособительная реакция организма, потому что таким образом мозг пытается найти и выработать для себя решение в стрессовой ситуации, но мы помним же, что стресс – это процесс, и очень важно как можно быстрее пройти эту стрессовую ситуацию [3]. А для этого нужно, чтобы негативные эмоции нас не блокировали, но если тревога уже становится очень сильной, то она может заблокировать нас вместо того, чтобы стимулировать, и тогда мы можем начать себя вести как пассивные беспомощные существа, совсем уже «зарыться» в эту стрессовую ситуацию и пойти на дно вместо того, чтобы выйти из нее, как бы начать «пробуксовывать». Второй аспект стрессовой ситуации заключается в том, что негативных гормонов, негативных эмоций, негативных мыслей у нас очень много, но в то же время у нас совсем мало гормонов и нейромедиаторов, которые отвечают за счастье – дофамина, серотонина, окситоцина, эндорфинов.

Развитие стресса у членов экипажа очень негативно сказывается на их профессиональной деятельности [2]. Они могут сказываться на качестве проделанной работы, а также на психологическом благополучии самих пилотов. Обладание эмоциональной устойчивостью экипажем воздушного судна является критически важным аспектом безопасности полетов. Пилоты воздушного судна работают в сложных и стрессовых условиях, где принятие правильных решений в сжатые сроки имеет решающее значение.

Во время полета экипаж может столкнуться с различными непредвиденными ситуациями, такими как технические поломки, погодные условия или неожиданные извинения в работе систем самолета. Столкновение с такими ситуациями может вызвать стресс, тревогу и панику. Однако, экипажи, обладающие эмоциональной устойчивостью, способны быстро оценивать ситуацию, сохранять ясность мышления и принимать решения, не позволяя эмоциям помешать выполнению своих профессиональных обязанностей.

Эмоциональная устойчивость также играет важную роль в командной работе экипажа. Пилот и другие члены экипажа должны уметь эффективно общаться и координировать свои действия в режиме реального времени. Если экипаж не обладает эмоциональной устойчивостью, это может способствовать возникновению конфликтов, недопониманию и неправильному выполнению задач, что может повлечь за собой серьезные последствия для безопасности полета.

Обучение и тренировка экипажей воздушных судов включают в себя психологические аспекты и развитие навыков эмоциональной устойчивости [6]. Это помогает пилотам научиться эффективно управлять эмоциями, справляться со стрессом и принимать обоснованные решения в экстремальных условиях.

Обладание стрессоустойчивостью является критически важным качеством для экипажа воздушного судна. В сфере авиации, где сотни пассажиров полагаются на безопасность и профессионализм экипажа, стресс может оказывать негативное влияние на принятие решений и реакцию на критические ситуации.

Стресс может возникать по разным причинам – от неожиданных изменений в плане полета до трудностей с обслуживанием самолета или взаимодействия с пассажирами. Подобные факторы могут вызывать напряжение и давление на экипаж, их способность сохранять концентрацию и принимать обоснованные решения.

Существует несколько способов снятия стресса после тяжелого рабочего дня. Следующие методы могут помочь членам экипажа восстановить баланс и справиться со стрессом:

1. Физическая активность: физические упражнения могут помочь высвободить накопленное напряжение и улучшить настроение. Это может включать прогулки, занятия спортом, йогу или другие формы физической активности.

2. Медитация и глубокое дыхание: регулярные сессии медитации и глубокое дыхание могут помочь снизить уровень стресса и улучшить общее благополучие. Эти практики позволяют расслабиться и успокоить ум.

3. Социальная поддержка: общение с коллегами и близкими людьми может быть эффективным способом снятия стресса. Обсуждение трудностей и чувств помогает уменьшить эмоциональное напряжение и получить поддержку.

4. Хобби и увлечения: после работы важно находить время для занятий хобби или увлечений, которые приносят удовольствие и расслабление. Чтение, рисование, музыка или другие приятные занятия помогут сконцентрироваться на чем-то позитивном и отвлечься от рабочих забот.

5. Забота о физическом и эмоциональном здоровье: регулярный сон, правильное питание и отдых являются неотъемлемыми элементами стрессоустойчивости. Забота о своем физическом и эмоциональном благополучии помогает справиться с нагрузками и поддерживать высокую работоспособность.

Важно отметить, что каждый человек может иметь свои индивидуальные способности снятия стресса. Полезно определить эффективные стратегии и создать план восстановления после тяжелых рабочих дней. Это поможет экипажу лучше справляться с требованиями своей работы и обеспечивать безопасность пассажиров.

Членам летного экипажа нужно обладать рядом психологических качеств, которые могут влиять на их работу и способность справляться с различными ситуациями. Вот некоторые из этих качеств:

1. Контроль эмоций: пилоты и другие члены экипажа должны быть способными контролировать свои эмоции во время стрессовых и неожиданных ситуаций. Это помогает им оставаться спокойными и принимать рациональные решения.

2. Решительность: члены экипажа должны быть решительными и способными принимать быстрые решения в случае чрезвычайных ситуаций или внезапных проблем.

3. Способность работать в команде: в летном экипаже коллективная работа и взаимодействие неотъемлемы. Члены экипажа должны быть

хорошими командными игроками и способными эффективно сотрудничать друг с другом.

4. Внимательность и концентрация: члены экипажа должны быть внимательными к деталям и способными поддерживать высокий уровень концентрации на протяжении всего полета.

5. Самоконтроль и дисциплина: члены экипажа должны быть дисциплинированными и способными соблюдать правила и процедуры, а также контролировать свое поведение и реакции.

6. Самообладание и уверенность: члены экипажа должны обладать уверенностью в своих способностях и быть способными оставаться спокойными и собранными в сложных и напряженных ситуациях.

7. Коммуникативные навыки: члены экипажа должны обладать хорошими коммуникативными навыками для эффективного общения внутри команды и с международным контролем полетов.

Эти психологические качества помогают членам летного экипажа выполнять свою работу безопасно и эффективно.

Эмоциональная устойчивость пилотов воздушного судна играет ключевую роль в обеспечении безопасности полета [5]. Пилоты с высокой эмоциональной устойчивостью способны принимать обдуманные решения в стрессовых ситуациях. Они остаются спокойными и сосредоточенными, что позволяет им анализировать ситуацию и выбирать оптимальные действия, минимизируя риски. Воздушные суда могут столкнуться с различными чрезвычайными ситуациями, такими как турбулентность, погодные условия и технические неисправности. Пилоты с высокой эмоциональной устойчивостью способны эффективно управлять стрессом и сохранять ясность мышления, что помогает им принимать решения в критических ситуациях. Также они способны эффективно общаться, сотрудничать и передавать информацию, что помогает предотвращать ошибки и решать возникающие проблемы. Они лучше справляются с автоматическим выполнением процедур и реагируют на системные требования. Они остаются фокусированными и не отвлекаются от своих обязанностей, что помогает предотвратить возникновение ошибок из-за неверного выполнения процедур.

Эмоциональная устойчивость пилотов воздушного судна способствует лучшему принятию решений, оперативному управлению стрессом и эффективной коммуникации, что значительно повышает безопасность полета.

Развитие стресса у экипажа может серьезно повлиять на безопасность полетов. Психоэмоциональное состояние членов экипажа оказывает влияние на их когнитивные функции, включая внимание, концентрацию, принятие решений и способность реагировать на нестандартные ситуации. Стресс может привести к ухудшению. Этих функций, что может затруднить экипажу осуществление безопасной эксплуатации самолета. Стресс может вызвать физиологические изменения у членов экипажа, такие как увеличение сердечного ритма, повышение кровяного давления и повышенная потливость. Эти изменения могут снизить физическую выносливость экипажа и ухудшить их реакцию на срочные ситуации. Стресс может привести к психологическому

и эмоциональному выгоранию членов экипажа. Это состояние характеризуется чувством истощения, отсутствием мотивации и понижением профессионализма [4]. Выгорание может снизить мотивацию экипажа соблюдать безопасные процедуры и следовать протоколам. Стресс также может ослабить командный дух и эффективность коммуникации внутри экипажа. Большое напряжение и стресс могут способствовать возникновению конфликтов и неправильной передаче информации, что может привести к ошибкам и нежелательным последствиям.

### **Заключение**

В целом эмоциональная устойчивость экипажа воздушного судна играет важную роль в обеспечении безопасности полетов, помогая эффективно справляться со стрессом и принимать обоснованные решения в сложных ситуациях. Для улучшения безопасности полетов необходимо специализированное обучение и тренировки для экипажа по управлению стрессом, командной работе и принятию решений в непредсказуемых ситуациях. Также важно организовывать рабочую среду, способствующую благополучию экипажа, и предоставить психологическую поддержку при необходимости.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Алексеевко М. С.* Личностный потенциал в практике психологического обеспечения лётной деятельности / М. С. Алексеевко // Психология и психотехника. – 2021. – № 4. – С. 111-131. – DOI 10.7256/2454-0722.2021.4.35802. – EDN BNKOJZ.
2. Методологические и теоретические предпосылки психологических исследований летного труда на современном этапе развития авиации / Д. В. Гандер, А. А. Ворона, В. А. Пономаренко, М. С. Алексеевко // Психология и психотехника. – 2016. – № 11(98). – С. 906-912. – EDN YSOYWR.
3. *Зиньковская С. М.* Современные виды подготовки летного состава гражданской авиации в области человеческого фактора / С. М. Зиньковская // Образование и наука. Известия УрО РАО. – 2006. – № 6(42). – С. 71-83. – EDN IUZJTD.
4. *Пономаренко В. А.* Психофизиологические компоненты профессиональной надежности пилота / В. А. Пономаренко, М. С. Алексеевко, А. А. Долгов // Проблемы безопасности полетов. – 2018. – № 6. – С. 3-18. – EDN OTYBWP.
5. Представление о профессионализме у абитуриентов летного училища / М. Н. Рыбникова, И. А. Ковальчук, А. Л. Сыркина [и др.] // Проблемы безопасности полетов. – 2020. – № 4. – С. 40-47. – DOI 10.36535/0235-5000-2020-04-5. – EDN YELIKV.
6. Нравственные качества летчика-испытателя - залог разработки эффективной и безопасной техники / В. В. Харитонов, С. Ф. Серегин, П. М. Шешегов [и др.] // Проблемы безопасности полетов. – 2020. – № 5. – С. 33-43. – DOI 10.36535/0235-5000-2020-05-4. – EDN RYFWFI.

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

Загирева А. Р.

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А. Н. Туполева – КАИ  
(г. Казань)*

**Аннотация.** Транспортная безопасность является важным аспектом в современном транспортном секторе, так как от нее зависит как безопасность пассажиров и грузов, так и эффективность работы транспортных предприятий. Целью исследования является определение затрат и оценка эффективности различных мероприятий по обеспечению транспортной безопасности.

**Ключевые слова:** транспорт, транспортная безопасность, управление, экономика, эффективность, анализ.

Транспортная безопасность является одним из важных аспектов современного транспортного сектора. Она направлена на защиту жизни, здоровья и имущества пассажиров, грузов, а также обеспечение нормальной работы транспортной системы в целом. Транспортная система является сложной и чувствительной к различным угрозам, таким как террористические акты, аварии, кражи и другие преступления.

К примеру, если рассмотреть число дорожно-транспортных происшествий, данный показатель в РФ за октябрь 2023 года превысил 12,5 тысяч [1].



Рисунок 1 – Показатели дорожно-транспортных происшествий. *Источник:*  
<http://stat.gibdd.ru/>



За прошлый год показатель ДТП с пострадавшими 2022 года в стране составил 126 705.

Аварии, в которых пострадали только машины, посчитать сложно. По статистике ГИБДД, каждое третье ДТП оформляется по европротоколу. В 2022 году без вызова автоинспекторов обошлись примерно 1,3 млн водителей. Если допустить, что в каждой аварии участвовало два автовладельца, то всего ежегодно происходит около 2 млн ДТП без пострадавших [1].

Кроме того, статистика не учитывает ситуации, когда водители договариваются на месте, не вызывая аварийного комиссара. Например, одна машина разбила бампер другой, виновник на месте отдал владельцу пострадавшего автомобиля деньги – и все разъехались почти довольные. Сколько происходит таких аварий – никто не знает.

Поэтому управление транспортной безопасностью имеет важное значение для обеспечения безопасности и нормального функционирования транспортной системы.

Однако, обеспечение транспортной безопасности может быть дорогостоящим процессом, и поэтому важно рассмотреть экономические аспекты управления транспортной безопасностью.

Затраты на транспортную безопасность.

Одним из основных экономических аспектов управления транспортной безопасностью являются затраты на реализацию безопасных мероприятий. Это включает в себя:

1. Обучение персонала. Внедрение систем обучения персонала в области безопасности, повышение уровня осведомленности и знаний сотрудников о правилах и процедурах безопасности [2].

В целях обеспечения транспортной безопасности в Российской Федерации подготовку и повышение квалификации руководителей и специалистов в сфере транспортной безопасности регламентирует Федеральный закон 16-ФЗ «О транспортной безопасности» [3].

Все образовательные программы разработаны с учетом типовых дополнительных профессиональных программ в области подготовки сил обеспечения транспортной безопасности, утвержденных Приказом Минтранса России от 29.12.2020 № 578 «Об утверждении типовых дополнительных профессиональных программ в области подготовки сил обеспечения транспортной безопасности».

Повышение квалификации руководителей и специалистов необходимо, если обеспечивают транспортную безопасность:

- На автомобильном транспорте и дорожном хозяйстве;
- На морском и речном транспорте;
- На железнодорожном транспорте;
- На воздушном транспорте.

2. Приобретение и обслуживание технических средств безопасности. Внедрение и обновление систем охраны, видеонаблюдения, контроля доступа, систем экстренного реагирования и т.д. [4].

Постановление правительства РФ № 969 от 26.09.2016 «Об утверждении требований к функциональным свойствам технических средств обеспечения транспортной безопасности и Правил обязательной сертификации технических средств обеспечения транспортной безопасности».

Документ включает в себя требования к функциональным свойствам:

- технических систем и средств сигнализации;
- технических средств видеонаблюдения;
- технических систем и средств интеллектуального видеонаблюдения;
- технических систем и средств досмотра;
- технических систем и средств контроля доступа;
- технических систем и средств видеозаписи;
- технических систем и средств аудиозаписи;
- технических средств связи, приема и передачи информации;
- технических средств оповещения;
- технических систем сбора и обработки информации.

3. Разработка и внедрение безопасных процедур. Разработка и соблюдение нормативных документов, стандартов и процедур безопасности, а также их обновление согласно современным требованиям. К примеру, Стандарт предоставления государственной услуги по утверждению планов обеспечения транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств в установленной сфере деятельности.

По данным Федеральной службы безопасности (ФСБ) Российской Федерации, национальная программа транспортной безопасности и защиты критической инфраструктуры в России предусматривает значительные расходы на обеспечение транспортной безопасности государства:

– В 2022 году на основании распорядительных актов Президента Российской Федерации и Правительства Российской Федерации Росавтодору из резервных фондов Президента Российской Федерации и Правительства Российской Федерации предоставлены бюджетные ассигнования в общем объеме 246 748,0 млн рублей.

– В 2022 году в рамках НП БКД Росавтодор являлся соисполнителем по четырем федеральным проектам: «Региональная и местная дорожная сеть», «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства», «Безопасность дорожного движения» и «Развитие федеральной магистральной сети».

– Общий объем бюджетных ассигнований из федерального бюджета, выделенных Росавтодору в 2022 году на финансирование мероприятий национального проекта, составил 408 295,4 млн рублей.

– Кассовое исполнение сложилось в общем объеме 408 215,0 млн рублей, или 99,96 % предусмотренного объема финансирования [1].

На 31 декабря 2022 года Росавтодор определен исполнителем по 222 мероприятиям федеральной адресной инвестиционной программы по строительству и реконструкции автомобильных дорог.

Эффективность управления транспортной безопасностью.

Анализ экономических аспектов управления транспортной безопасностью также включает оценку эффективности мероприятий безопасности. Она оценивается по нескольким показателям [5]:

1. Снижение потерь. Внедрение эффективных мероприятий безопасности может снизить потери, связанные с преступлениями, авариями, кражами и другими неблагоприятными событиями.

– «Безопасные качественные дороги» – национальный проект, реализуемый в 84 регионах страны. Он оказывает большое влияние на транспортную инфраструктуру в России: строятся новые современные магистрали, мосты и путепроводы, применяются современные технологии и материалы, внедряются интеллектуальные транспортные системы, повышается сохранность трасс.

– Национальная премия «Транспортная безопасность России – 2023». Целью Национальной премии является пропаганда достижений, а также передовых методов и решений в области обеспечения транспортной безопасности, оценка вклада предприятий и организаций, руководителей и специалистов транспортной отрасли, а также органов государственной власти, способствующих развитию и укреплению транспортной безопасности в Российской Федерации, и их поощрение.

2. Укрепление репутации и привлекательности. Транспортные предприятия, активно инвестирующие в безопасность и успевшие применить меры по предотвращению преступлений и аварий, могут повысить свою репутацию и привлекательность для клиентов.

3. Снижение страховых выплат. Эффективные мероприятия безопасности могут привести к снижению страховых выплат, так как риск происшествий будет уменьшен.

Транспортная безопасность имеет значительное влияние на экономику. Ниже рассмотрены основные аспекты, которые демонстрируют это влияние:

1. Снижение экономических потерь. Высокий уровень транспортной безопасности помогает предотвратить аварии, инциденты и простои, что уменьшает потери в виде ущерба для имущества, травм и жертв, а также упущенной прибыли. Это позволяет компаниям избежать непредвиденных расходов и сохранить эффективность своей работы.

2. Улучшение производительности и эффективности. Безопасные транспортные условия способствуют повышению производительности и эффективности в сфере транспорта. Это позволяет сократить время доставки товаров и услуг, устранить простои, улучшить пунктуальность и надежность, что способствует экономической эффективности процессов доставки.

3. Привлекательность для инвесторов и клиентов. Компании, обеспечивающие высокий уровень транспортной безопасности, создают доверие и привлекательность для инвесторов и клиентов. Это привлекает капитал, поддерживает рост и развитие бизнеса, а также обеспечивает устойчивые партнерские отношения.

4. Снижение страховых премий и рисков. Безопасные условия транспортировки позволяют снизить риски аварий и происшествий, что влияет на страховые премии и условия страхования. Это способствует снижению экономических рисков, связанных с потерей грузов, повреждениями имущества и юридическими последствиями.

5. Улучшение репутации и доверия. Компании, которые активно заботятся о транспортной безопасности, строят положительную репутацию и доверие клиентов и общественности. Это способствует удержанию существующих клиентов, привлечению новых клиентов и улучшению деловой репутации, что в свою очередь влияет на экономический успех компании.

6. Соответствие нормативным требованиям. Соблюдение требований законодательства и нормативных актов в области транспортной безопасности является неотъемлемой частью деятельности компании. Это позволяет избежать штрафов и санкций со стороны регулирующих органов, а также снижает риски юридических проблем, что влияет на экономическую эффективность и стабильность компании [5].

В целом, управление транспортной безопасностью требует постоянного внимания и улучшения. Выводы по управлению транспортной безопасностью подчеркивают важность применения мер безопасности, сотрудничество и координацию, анализ и инновации, а также образование и сознательность для обеспечения безопасности на транспорте. Обеспечение транспортной безопасности имеет значительное влияние на экономику, конкурентоспособность и производительность транспортной системы, и компании, стремящиеся достичь лидерства, должны уделять должное внимание этому аспекту.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Показатели состояния безопасности дорожного движения – [Электронный ресурс] – URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 10.11.2023)
2. Шандриков А. С. Основы управления транспортным средством и безопасность движения : учеб. пособие / А. С. Шандриков. – Минск : РИПО, 2020. – 251 с.
3. Федеральный закон "О транспортной безопасности" от 09.02.2007 N 16-ФЗ (последняя редакция) – [Электронный ресурс] – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_66069/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_66069/) (дата обращения: 25.11.2023)
4. Туревский И. С. Экономика отрасли (автомобильный транспорт) : учебник / И. С. Туревский. – Москва : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2022. – 288 с.
5. Economic security in the transport industry – [Электронный ресурс] – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/918/1/012211/pdf> (дата обращения: 09.11.2023)

## AN INTEGRATED APPROACH TO AIR TRANSPORT RISK ASSESSMENT

Morozova A. D., Naplekova M. S.

Morozova M. A.  
(scientific advisor)*Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after B.P. Bugaev  
(Ulyanovsk)*

**Abstract.** The aviation industry, which is a determinant of international trade and global societal development, faces numerous real and potential threats. To mitigate security risks it is necessary to carry out continuous assessment of current situation, predict potential risks and develop adequate safety and security measures. Aviation safety is insured by safety and security management system. The system includes risk assessment. Risk assessment in aviation is a comprehensive, multifaceted process encompassing various aspects. To prevent risks of aviation incidents and apply adequate responses to potential risks relevant risk assessment is required. The authors consider an integrated risk assessment approach as the most efficient means of aviation safety and security provision.

**Key words:** air transportation, safety, risks, risk assessment, security.

While passenger traffic is constantly increasing, the risks of aviation accidents are rising and air transport safety has become a priority of the industry. According to the ICAO Flight Safety Report 2022 «global passenger traffic recovered modestly in 2021 with 2.3 billion passengers worldwide or 49 per cent below pre-pandemic (2019) levels, up from the 60 per cent drop seen in 2020, the first year of the pandemic when only 1.8 billion passengers took to the air, compared to 4.5 billion in 2019. As indicated in Chart 1, the number of flight departures for scheduled commercial operations increased by approximately 11 per cent with around 25 million departures in 2021, compared to around 22.5 million in 2020 [1]

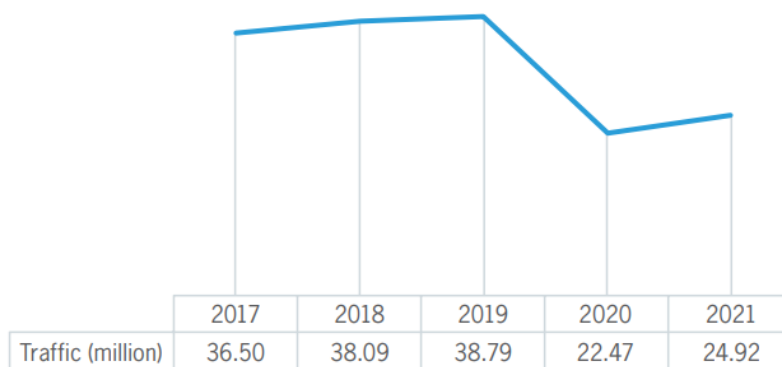


Chart 1 – Global traffic of flight departures

The analysis of relevant literature on the problem of efficiency of risk assessment in the aviation industry has shown a decrease of researchers' interest in this problem. Researchers consider methodological problems of risk management, aviation safety and analyze inaccuracies in terminology and in the description of

safety management procedures in the documents of the International Civil Aviation Organization (ICAO). However, publications of recent years do not provide the description of a tested effective approach to risk assessment applied in the field of air transportation.

The necessity of a reliable and dynamic risk assessment system has become crucial for the aviation industry, where risks range from traditional issues such as terrorism to such risks as cyber-attacks and pandemics. «Yearly accident statistics indicate a decrease in the global accident rate in 2021. From 2020 to 2021, there was no change in the total number of accidents, as reported by States. The global accident rate of 1.93 accidents per million departures in 2021 decreased by 9.8 per cent from the 2020 rate of 2.14 accidents per million departures» [1].

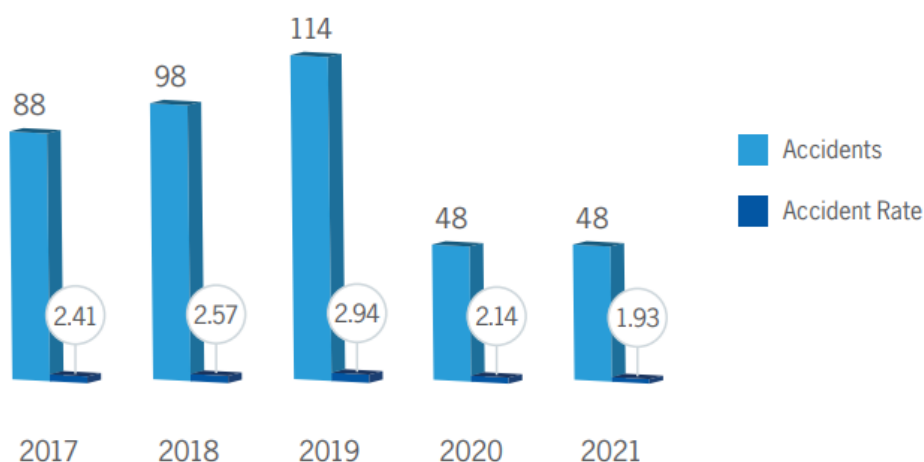


Chart 2 – Accident records: 2017-2021 scheduled commercial operations

Positive trend of accident rate recorded in 2017-2021 is observed due to decrease in passenger traffic. Unfortunately, the trend can reverse when the amount of passengers increases or in case of changing economic and geopolitical situation.

Risk assessment in aviation is a multifaceted process that encompasses various aspects: to prevent accidents, mitigate consequences of accidents and respond to potential risks. This paper examines six major risk factors, which correlate to an integrated approach to risk assessment for the aviation industry.

**Terrorism and security concerns.** One of the most important threats to air transportation is terrorism. The governments, in collaboration with aviation authorities and security inspectorates, continually assess and adapt security protocols to prevent terrorist attacks that could jeopardize aircraft, passengers, and infrastructure. The fulfillment of protocols includes enhanced security inspections, implementation of advanced technology, and international cooperation to gather intelligence data and prevent potential risks.

**Cybersecurity Risks.** With the increasing digitalization of aviation systems, cybersecurity threats have become a major concern. Cyber risk assessment includes protecting critical infrastructure, flight control systems, and databases from hacking, data breaches, or any unauthorized access that could compromise flight safety.

Natural and environmental risks. Air travel is also vulnerable to natural hazards such as extreme weather conditions, volcanic eruptions or geographical factors. Such risks assessment and monitoring include meteorological forecasting, geospatial analysis, and flight route design to avoid adverse weather conditions or airflow disturbances.

Safety Management and Mechanical Risks. Mechanical failures, system malfunctions or human errors during the flight pose inherent risks. Robust safety management protocols, regular maintenance, training, and adherence to strict operating procedures are critical to mitigating such risks.

Risks caused by pandemic and health conditions of personnel and passengers. Recent global health crises have emphasized the need to assess health risks in air travel. The COVID-19 pandemic has led to the implementation of new health and safety protocols, including strict sanitation measures, health screenings, and passenger movement adjustments to minimize the risk of disease transmission.

Regulatory compliance and legal framework. Air transportation risks assessment also includes compliance with aviation regulations and legal frameworks. Regular audits, review of safety standards, and ongoing training are essential to meet changing regulatory requirements.

Risk assessment in air transportation requires a comprehensive and dynamic approach, integrating advanced technologies such as artificial intelligence, interagency cooperation, research, and innovative developments. An effective risk management system requires constant reassessment of strategies to adapt to emerging risks.

According to Annex 17, each Contracting State shall assess on regular basis the aviation safety risks within its territory and shall develop and implement guidelines and regulations to appropriately adjust the relevant elements of its civil aviation security program based on the risk assessment conducted by the relevant authorities [2]. Aviation risk assessment includes a variety of integrated methods based on risk analyses to identify, evaluate and prevent potential risks. Here are some of the main aspects for risk analyses and assessment.

1. Terrorist risk analysis. Intelligent analysis utilizing state of the art technology is based on collecting of historical data, assessment of the geopolitical environment, and collaboration with intelligence agencies help to identify and assess possible terrorist risks. Terrorist risk analysis also includes assessing the likelihood of an attack and developing preventative measures.

2. Cybersecurity. Cybersecurity risk assessment includes regularly auditing, securing flight data and aviation information systems from hacker attacks, implementing security features into aviation systems, and ensuring compliance with security standards.

3. Meteorological and Geographic Analysis. This analysis utilize advanced meteorological technologies such as intelligent modeling and geographic information systems to anticipate and prevent risks associated with extreme weather, natural disasters, or adverse geographic features.

4. Analysis technical readiness and flight safety. This aspect of integrated risk assessment approach presumes regular technical checkups and maintenance of

aircraft, analysis of flight safety data, and training of personnel to reduce risks associated with technical failures and human errors.

5. Sanitary standards. The pandemic has highlighted the relevance of effective methods for assessing health risks and modeling the development of a pandemic and its consequences. Sanitary standards include bio-security measures, sanitation requirements and medical protocols to prevent spread of infections.

6. Monitoring and adherence to standards and recommended practices. This aspect of integrated risk assessment approach presumes regular audits of aviation operators' compliance with international and national safety standards and active cooperation with regulatory authorities decrease technical deficiencies and procedural failures.

As noted by researchers Tolstykh S.A. and Sharov V.D. "The risk management method based on the "ICAO matrix" recommended in the ICAO Manual does not fully satisfy airfield operators, as it does not allow for a holistic "integral" risk assessment..." [3, 4]. Moreover, un-co-ordinated uncompiled methods used for risk assessment for separate aspect of aviation security and safety cannot solve globally the problem aviation industry safeguarding.

All the above-mentioned measures should be combined within integrated approach risk assessment, ensuring a high level of safety security for air transport, which leads to minimization accidents and incidents associated with various aspects of aviation activities. The integrated approach complies with the Global Aviation Safety Plan goals and its' last addition (2023-2025) "The GASP promotes the effective implementation of a State safety programme, including a State's safety oversight system, a risk-based approach to managing safety as well as a coordinated approach to collaboration between States ..."[5].

In conclusion, it is important to emphasize the importance of an integrated approach to threat assessment in air transport to ensure the safety of passengers and the efficient functioning of the industry. It is also worth noting that the development of comprehensive threat assessment methods and tools will improve decision-making processes and crisis preparedness. Further research in this area is necessary for continuous improvement of aviation security systems.

The intricate web of threats that looms over air transportation necessitates a continuous and adaptive approach to risk assessment. As we navigate the dynamic landscape of aviation security, the methods employed in evaluating threats underscore the industry's commitment to passenger safety, operational integrity, and global connectivity. The ever-evolving nature of risks, from traditional concerns to emerging challenges, demands vigilance and innovation. The collaboration between governments, aviation authorities, industry stakeholders, and the integration of cutting-edge technologies form the bedrock of a resilient aviation sector.

As we look to the future, the imperative is not merely to identify and counter threats but to anticipate and stay ahead of the curve. The commitment to rigorous regulatory compliance, technological advancements, and international cooperation will fortify the aviation industry against the unpredictable. Through these collective efforts, we endeavor to ensure that the skies remain a symbol of progress, accessibility, and, above all, safety for generations to come.



## REFERENCES

1. ICAO Safety Report | 2022 Edition // [Электронный ресурс]. – 2022. – URL: [https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO\\_SR\\_2022.pdf](https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_SR_2022.pdf) (дата обращения: 19.11.2023)
2. International Standards and Recommended Practices, International Civil Aviation Organization, Annex 17 Security, International Civil Aviation Organization // [Электронный ресурс]. – 2017. URL: <https://www.pilot18.com/wp-content/uploads/2017/10/Pilot18.com-ICAO-Annex-17-Security.pdf>
3. Толстых С. А. Метод разработки основных элементов СУБП оператора аэродрома / С. А. Толстых, В. Д. Шаров // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2018. – Т. 21, № 4. – С. 29-38. – DOI 10.26467/2079-0619-2018-21-4-29-38. – EDN XWARZB.
4. Шаров В. Д. Анализ недостатков в описании процедур управления риском безопасности полетов в документах ИКАО / В. Д. Шаров, Б. П. Елисеев, В. В. Воробьев // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2019. – Т. 22, № 2. – С. 49-61. – DOI 10.26467/2079-0619-2019-22-2-49-61. – EDN ZEGADJ.
5. Doc 10004, Global Aviation Safety Plan, Global Aviation Safety Plan Order Number: 10004 ISBN 978-92-9265-725-3 (electronic version) © ICAO 2022 // [Электронный ресурс]. – 2022. URL: [https:// skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/34194.pdf](https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/34194.pdf) (дата обращения: 19.11.2023)

УДК 656.70

### АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОЕКТА SSJ-NEW В УСЛОВИЯХ САНКЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Мухин В. А.

Шерстеникина А. А.  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** Статья рассматривает вопросы, связанные с проектом SSJ-new. Изучены вопросы международной кооперации и технологической независимости в самолето- и двигателестроении. Анализируется влияние санкций на развитие российской промышленности. Изучены возможные стратегии преодоления ограничений, предпринимаемые государством и производителями. Проведён анализ технико-экономических показателей установленного на SSJ-100 двигателя SAM146 и перспективного двигателя ПД-8. Рассмотрены технологии, применяемые при производстве отечественного двигателя, в частности аддитивные технологии. В статье представлены данные и аналитика, позволяющие оценить перспективы данного проекта в современной гражданской авиации.

**Ключевые слова:** импортозамещение, санкции, международная кооперация, Суперджет-100, двигатель ПД-8, двигатель SAM146.

В сентябре 2023 года опытный образец российского ближнемагистрального самолета SJ-100, изготовленный производственным центром ПАО «Яковлев» в Комсомольске-на-Амуре, совершил первый полет. В ходе испытаний была подтверждена стабильная работа всех отечественных систем, управляемость и устойчивость самолета в воздухе, самолет поднялся на 3000 м, достиг скорости свыше 340 км/час, произвел «посадку на облако» и другие маневры. Всего в Суперджете было замещено порядка 40 систем и агрегатов, на разработку проекта ушло четыре года.

Политический конфликт между Россией и западными странами привел к началу санкционной борьбы, что послужило одной из ключевых причин старта импортозамещающей политики в нашей стране. Вопрос об экономической безопасности ставился и раньше, но сейчас он как никогда важен.

Согласно данным Министерства транспорта РФ, на текущий момент в гражданской авиации используется 739 судов. Из них 582 иностранного производства (Рис. 1).

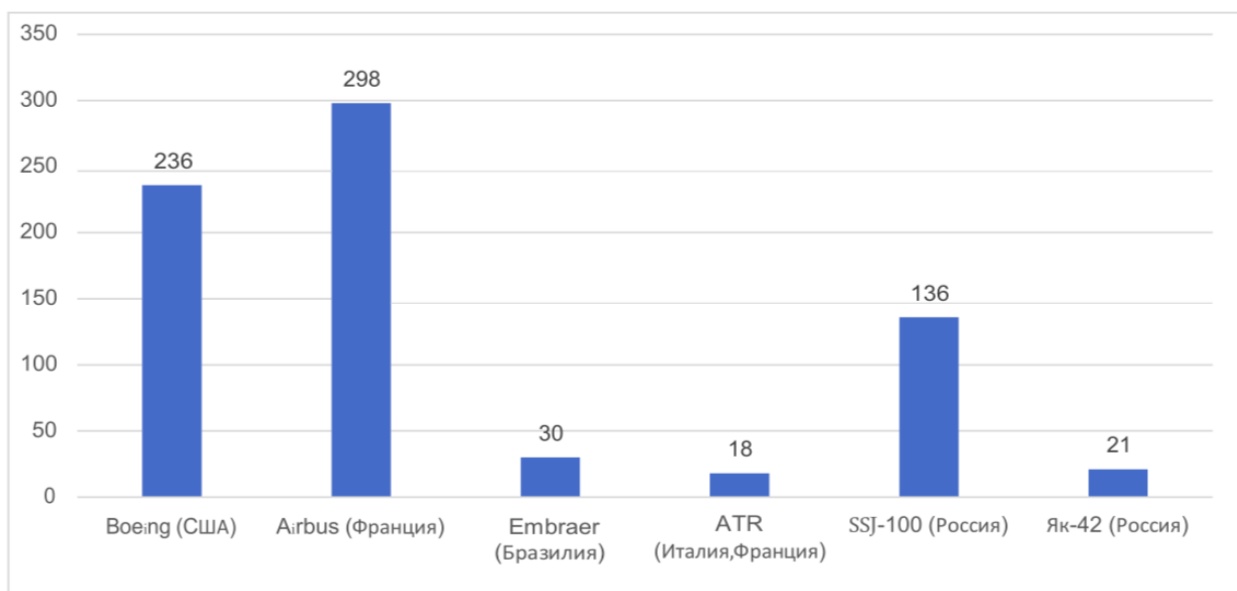


Рисунок 1 – Количество воздушных судов, эксплуатируемых в РФ.

Источник: <https://mintrans.gov.ru/press-center/branch-news>

У крупных российских авиакомпаний, таких как Аэрофлот, S7, Уральские Авиалинии несколько зарубежных самолетов находятся на консервации, так как в текущих санкционных условиях прекратилось обслуживание и поставки запчастей. Данные самолеты используются в качестве доноров для еще функционирующих лайнеров [1].

После распада Советского Союза и начавшегося экономического кризиса, авиационная промышленность пришла в упадок. Отечественные авиакомпании стали активно брать в лизинг самолёты Boeing и Airbus.

Вопрос возрождения собственной авиапромышленности встал в начале 2000-х годов. Тогда была создана компания «Гражданские самолёты Сухого».

А в 2001 году была запущена федеральная программа по развитию гражданской авиации, по которой предусматривалась государственная поддержка одного проекта. В конкурсе победил Russian Regional Jet (RRJ), который впоследствии переименовали в Sukhoi Superjet 100 (SSJ-100). Так началось создание первого в российской истории самолёта.

В 2007 году прошла презентация «Суперджета». В 2008 году – первый полёт опытного самолёта. А в 2011 году состоялся первый коммерческий полёт. В 2012 году самолёт получил сертификат EASA, который позволял эксплуатировать самолёт в других странах. Во многом ради получения этого сертификата было налажено тесное взаимодействие с зарубежными компаниями, поскольку отечественные производители не делали комплектующие, соответствующие мировым стандартам.

Двигатели и электроника разрабатывались французскими компаниями «Power Jet» и «Thales», интерьер самолета спроектировала американская компания «Aerospace», систему управления и системы жизнеобеспечения немецкая компания «LIEBHERR», шасси французская компания «MESSIER DOWTY», гидравлическую систему американская компания «PARKER», кресла экипажа британская компания «IPECO», топливную систему французская компания «INTERTECHNIQUE», систему торможения колёс американская компания «GOODRICH» (Рис. 2).



Рисунок 2 – Международная кооперация при производстве SSJ-100.  
 Источник: <https://zelengarden.ru/21-foto/shema-salona-suhoj-superdzhet-rossiya.html>

Доля зарубежных комплектующих при производстве SSJ-100 составляла около 70%. После введения санкций, зарубежные компании отказались от их поставок и перестали оказывать поддержку в обслуживании самолёта [2].

К 2019 году было построено 186 самолетов SSJ-100, из них 3 для статических испытаний и 182 летных экземпляра, 151 самолет передан заказчиком. Среди российских авиакомпаний эксплуатантами Суперджет стали «Ямал» – 15 единиц, «Якутия» – 5, «Аэрофлот» – 2, «Азимут» – 17 единиц, «Газпром авиа» – 10 единиц, «ИрАэро» – 6 единиц, «Россия» – 74 единицы, «Red Wing Airlines» – 18 единиц, «Северсталь» – 4 единицы, «РусДжет» – 1 единица. 22 самолёта эксплуатирует мексиканская авиакомпания Interjet.

Если бы ситуация не начала меняться, то по прогнозу производителя к 2030 году авиапарк данного типа самолета мог сократиться до 28 лайнеров.

Многие эксперты отмечают наличие в Суперджете отличной автоматики и высокий класс безопасности полетов. Выполненные в ЦАГИ расчеты параметров полета позволили SSJ-100 летать на высоте до 12000 км с крейсерской скоростью 830 км/ч, среднечасовым расходом топлива 1700 кг/ч, пассажироместимостью от 87 до 108 пассажиров, взлётной массой 45880 кг. Такие характеристики есть далеко не у всех конкурентов Суперджета [3].

Ввиду высокой наукоемкости и фондоёмкости авиастроения, экстренное проектирование и производство самолетов затруднительно. Поэтому успешное импортозамещение в авиации и выпуск летательных аппаратов, способных конкурировать с мировыми конкурентами, смогут значительно улучшить экономическое положение в стране и помогут избежать политического давления со стороны других государств.

В 2018 году было принято решение о создании практически нового, импортозамещенного самолета – «SSJ-NEW». Новый самолёт получил название Суперджет-100 или SJ-100.

К концу 2023 года Superjet-NEW получил принципиально новые отечественные агрегаты и системы, а именно:

- конструкция планера (Производственный центр корпорации «Иркут»);
- система кондиционирования воздуха (Холдинг «Технодинамика»);
- тормозная система (корпорация «Рубин»);
- система водоснабжения и удаления отходов (Московский КПК «Универсал» холдинга «Технодинамика»);
- система электроснабжения (Уфимское агрегатное производственное объединение);
- кислородная система (НПП «Респиратор»);
- датчики утечки воздуха (НИИ физических измерений);
- сигнализатор обледенения и температуры воздуха (холдинг Российские космические системы «Роскосмос»);
- шасси (авиахолдинг «Самара»);
- вспомогательная силовая установка (НПП «Аэросила»);
- маты теплозвукоизоляции;
- пассажирские кресла.

Все производители узлов, деталей, агрегатов и систем представлены на рисунке 3. И на всех комплектующих будет маркировка – «Сделано в России» [4].

Планируется, что в 2024 году самолёт совершит полёт с новым двигателем ПД-8, который заменит французский агрегат SAM 146. На сегодняшний момент эти двигатели проходят испытания в летающей лаборатории Ил-76ЛЛ.

Перспективный российский двигатель ПД-8 производится с применением отечественных комплектующих и новых технологий, включая 3D-печать.

Центр аддитивных технологий Госкорпорации «Ростех» уже приступил к серийной 3D-печати деталей двигателя. Благодаря промышленной 3D-печати возможно сократить срок изготовления отдельных комплектующих с шести месяцев до трех недель. Кроме того, комплектующие, изготовленные аддитивным способом, отличаются меньшей массой при сохранении функциональных свойств. Это позволяет повысить полезную нагрузку и улучшить другие характеристики воздушных судов.



Рисунок 3 – Российские производители агрегатов и систем SSJ-100.

Источник: <https://dzen.ru/a/YTI8wdydxymAOABs>

Для двигателей семейства ПД специалистами ВИАМ (Всероссийского института авиационных материалов) уже создано 20 новых сплавов, имеющих лучшие характеристики при более высоких температурах, облегченных полимерных композиционных материалов (ПКМ) для крупногабаритных деталей и узлов, в первую очередь вентилятора и мотогондолы. Технические характеристики нового двигателя и его французского предшественника представлены в таблице 1 [5].

Таблица 1 – Технические характеристики двигателей SaM146 и ПД-8

Характеристики	ПД-8	SaM146
Диаметр вентилятора, мм	1228	1220
Степень двухконтурности	4,4	4,4
Крейсерский удельный расход топлива	0,61	0,629
Сухая/постановочная масса двигателя, кг.	2300	1708/2259
Взлётная тяга, кгс	7900	7740 (7900)
Ступеней в компрессоре	15	13
Степень повышения давления в компрессоре	28	22,8

Существующие производственные мощности позволяют выпускать до 40 единиц Суперджет-100 в год.

К 2030 году планируется выпустить 89 «SSJ-NEW».

Если рассматривать политику импортозамещения в авиастроительной отрасли в долгосрочной перспективе, то перед ней стоит задача модернизации собственного производства, а также проектирования принципиально новых летательных аппаратов, отвечающих требованиям экономичности, безопасности, экологичности [6].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильин М. Е. Изменение государственного регулирования экономической безопасности РФ в современных условиях / М. Е. Ильин, С. С. Оленников // Устойчивое развитие: геополитическая трансформация и национальные приоритеты : Материалы XIX Международного конгресса с элементами научной школы для молодых ученых. В 2-х томах. Том 1. – Москва: МУ им. С.Ю. Витте, 2023. – С. 1522-1527.
2. Евдокимова Е. Н. Проблемы развития промышленности в условиях импортозамещения / Е. Н. Евдокимова, М. В. Куприянова // Актуальные проблемы современной науки и производства : Материалы VII Всероссийской научно-технической конференции. – Рязань : РГРТУ им. В.Ф. Уткина, 2022. – С. 407-415.
3. Особенности импортозамещения в авиастроительной отрасли / А. В. Майоров, Л. Н. Борисоглебская, Д. В. Булатников, К. Э. Дудина // Инновации. – 2023. – № 1(291). – С. 45-50. – DOI 10.26310/2071-3010.2023.291.1.004. – EDN ZLMTWE.
4. Соловьев С. С. Современные достижения и инновации объединенной авиастроительной корпорации / С. С. Соловьев, Д. Р. Хайруллин, А. Д. Гильфанов // Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации : Сборник статей XX Международной научно-практической конференции, Пенза, 15 августа 2021 года. – Пенза: Наука и Просвещение, 2021. – С. 159-162. – EDN MKHOUD.
5. Моисеев В. В. Импортонезависимость России : история и современность / В. В. Моисеев. – Москва : ООО «Директ-Медиа», 2023. – 444 с. – ISBN 978-5-4499-3624-0. – EDN FJPOWO.
6. Саттарова И. В. Сущность категории импортозамещения в контексте формирования экономической безопасности страны / И. В. Саттарова // Донецкие чтения 2021 : образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : материалы VI Международной научной конференции. Том 5. Часть 1. – Донецк : ДонНУ, 2021. – С. 87-89.



## ФОРМИРОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОСЛЕПРОДАЖНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, ОСНОВАННОЙ НА ПОКАЗАТЕЛЯХ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Пелих Е. А.

Куприков М. Ю.  
(научный руководитель)

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский  
университет)  
(г. Москва)*

**Аннотация.** Вопрос оптимизации издержек на этапе эксплуатации авиационной техники задает новые требования к затратам на обеспечение поддержания её в исправном состоянии. Отсутствие нормативно-правовой базы, в том числе показателей качества при оказании такого рода услуг компаниями-посредниками может привести к проблемам совместимости и отсутствию универсальности при эксплуатации разных видов авиационной техники. Предлагаются критерии качества при оказании услуг по обеспечению эксплуатации авиационной техники компаниями-посредниками.

**Ключевые слова:** авиационная техника, эксплуатация, издержки, показатели качества.

В условиях непрерывного стремления эксплуатантов к повышению эффективности авиационной техники возникает вопрос об оптимизации издержек на обеспечение поддержания её в исправном состоянии. Одним из путей решения данного вопроса является сокращение расходов на операции по обслуживанию авиационной техники, что может быть достигнуто при помощи перехода с концепции обеспечения эксплуатации, ориентированной на поставки комплектующих и их замену при отказе, на концепцию передачи задач по поддержанию авиационной техники в исправном состоянии на компанию-посредника, задачей которого будет являться обеспечение установленных контрактом показателей надежности изделия.

Разработка такой системы взаимодействия эксплуатанта и компании-посредника требует, в том числе, разработки требований к оказанию услуг компанией-посредником, его характеристикам и прочим факторам, отражающим уровень его работоспособности. В силу того, что рассматриваемая концепция, ориентированная на показатели надежности, в Российской Федерации в настоящий момент не является широко распространённой, разработка таких требований к качеству оказываемых услуг может задать ограничения и выступить ориентиром для компаний, заинтересованных в оказании такого рода услуг [1].

Определение таких критериев может быть реализовано в рамках Государственных стандартов, а также Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) [2], являющейся набором базовых требований к разрабатываемым системам по обеспечению жизненного цикла изделий.

Формирование единых требований к характеристикам системы обслуживания в рамках государственных стандартов позволит установить единство понятий при описании качественных характеристик новых моделей показателеориентированного обслуживания авиационной техники для их последующего использования. Описанный набор требований может быть представлен в виде показателей качества.

Для реализации упомянутых концепций изложения единых требований в государственных стандартах на основе серии системы показателей качества продукции необходимо:

1. Разработать номенклатуру типовых показателей качества;
2. Классифицировать показатели по применению на стадиях жизненного цикла изделия;
3. Классифицировать показатели по использованию в документации на разработку системы обслуживания.

Показатели качества целесообразно разделять на группы и виды показателей по следующей структуре:

Группа показателей качества	<u>XX</u> <u>X</u>
Вид показателей качества, от 0 до 9	

Номенклатура типовых показателей представлена в (табл. 1).

Таблица 2 – Классификационная таблица показателей качества

Группа показателей		Вид показателя	
Код	Наименование	Код	Наименование
1	Обслуживаемое изделие	1	Классификация
		2	Функциональность
		3	Принцип действия
		4	Конструктивность
		5	Состав и структура
2	Надежность системы	1	Безопасность
		2	Долговечность
		3	Работоспособность
		4	Сохраняемость
3	Логистическое обеспечение	1	Универсальность
		2	Средняя продолжительность подготовки изделия к транспортированию



		3	Средняя трудоемкость подготовки
		4	Средняя продолжительность погрузки при заданных условиях
		5	Коэффициент использования объема транспортных средств
		6	Средняя продолжительность разгрузки
4	Безопасность	1	Вероятность бесперебойной работы
		2	Среднее время бесперебойной работы
5	Экономичность	1	Стоимость оказываемых услуг
		2	Требования по ценообразованию
6	Стандартность	1	Унификация
		2	Применяемость
		3	Повторяемость

Показатели обслуживаемого изделия обуславливают область применения системы и характеризуют её основные свойства.

Показатели надежности системы определяют безопасность её допуска к работе с изделием, долговечность системы, её работоспособность и сохраняемость. Долговечности определяют ресурс системы, установленный контрактом на обеспечение заданных показателей надежности изделия. Показатели сохраняемости отражают средний срок для системы сохранять работоспособное состояние.

Показатели логистического обеспечения – средняя продолжительность подготовки изделия, его компонентов или ремонтных комплектов к транспортированию, средняя трудоемкость подготовки, средняя продолжительность погрузки на транспортное средство при заданных условиях, коэффициент использования объема транспортных средств и средняя продолжительность разгрузки при заданных условиях. Показатель универсальности описывает возможность применения конкретных элементов логистической системы для выполнения транспортирования изделия, комплектующих или ремонтных комплектов различных габаритов и массы.

Показатели безопасности характеризуют особенности системы, обеспечивающие при его эксплуатации безопасность обслуживающего персонала, вероятность бесперебойной работы и среднее время бесперебойной работы.

Экономические показатели характеризуют стоимость оказываемых услуг и требования по ценообразованию на этапе заключения контракта между эксплуатантом и компанией-посредником.

Показатели стандартизации отражают возможности копирования системы, её применения различными контрагентами в рамках соответствия с разрабатываемыми стандартами.

Представленный набор показателей качества разрабатываемой системы может быть использован в качестве базовой структуры при формировании общих требований к контрагенту, обеспечивающему требуемые показатели надежности авиационной техники. Унификация набора таких показателей задаёт требования к структуре компании-посредника. В таких условиях любой контрагент, взаимодействующий с компанией-посредником для поставки комплектующих или оказания услуг, может опираться на заданные требования для выявления несоответствий своей структуры заданным требованиям.

Внедрение новых требований в виде показателей качества не предполагает отсутствие возможности для появляющихся компаний-посредников заключать контракты на обеспечение эксплуатации изделий. Процесс внедрения новых стандартов может вестись параллельно с созданием компаний-посредников. В силу того, что к эксплуатации авиационной техники, как гражданского, так и военного назначения предъявляются повышенные требования по безопасности, необходимо привлечение государственных органов, уполномоченных давать особое заключение по вновь созданной компании о соответствии её структуры и качеству оказываемых услуг заявленным требованиям. Таким органом может быть авиационный сертификационный центр, работающий в соответствии с авиационными правилами и сертификационным базисом.

На базе созданной номенклатуры показателей качества может быть создан сертификационный базис, детализирующий предъявляемые требования.

Выводы:

1. Определена потребность в разработке критериев качества при обеспечении эксплуатации авиационной техники в рамках концепции, ориентированной на показатели надежности. Критерии качества могут быть сформулированы в рамках государственных стандартов, задающих требования к оказанию услуг по поддержанию изделия в исправном состоянии.

2. Разработана номенклатура показателей качества услуг компании-посредника, обеспечивающей эксплуатацию авиационной техники. Сформирована классификация показателей качества.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Современное состояние и перспективы стандартизации новых производственных технологий в машиностроении / Ю. В. Будкин, А. В. Докукин, В. Н. Квасницкий [и др.] // Технология машиностроения. – 2020. – № 1. – С. 68-72. – EDN HESHYO.

2. ГОСТ 2.114–2016. Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Технические условия.

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И ПРОБЛЕМЫ ЧАРТЕРНЫХ ВОЗДУШНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Усачева И. В.

Вишнякова А. А., канд. социол. наук  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** Данная статья исследует основные тенденции в развитии чартерных воздушных перевозок и идентифицирует проблемы, с которыми сталкиваются в данной отрасли. Анализируется увеличение спроса на чартерные перевозки, рост конкуренции и изменения в рыночной среде. Также рассматриваются ограничения в доступе к аэропортам, регулятивные ограничения, проблемы безопасности и управления рисками.

**Ключевые слова:** воздушный транспорт, авиация, авиационная индустрия, чартерные воздушные перевозки, технологические инновации, беспилотные воздушные суда, современные системы управления, оптимизация.

### **Введение**

В настоящее время чартерные воздушные перевозки становятся все более популярными и востребованными среди пассажиров и грузовладельцев. Чартерные перевозки представляют собой особую форму авиационных услуг, предоставляемых по индивидуальному запросу, и обладают рядом преимуществ по сравнению с регулярными авиалиниями. Тем не менее, развитие чартерных воздушных перевозок сопряжено с рядом тенденций и проблем, которые требуют более глубокого исследования [1].

Выбор данной темы обусловлен актуальностью и значимостью развития чартерных воздушных перевозок в современном мире. С ростом туристической и бизнес-активности, а также с расширением мирового рынка грузоперевозок, чартерные перевозки становятся неотъемлемой частью авиационной индустрии.

Кроме того, существует растущий интерес исследователей и профессионалов в изучении тенденций и проблем, связанных с чартерными воздушными перевозками, с целью оптимизации и улучшения этой формы авиационных услуг.

Сектор авиаперевозок является одним из наиболее стратегических и жизненно важных секторов страны с точки зрения экономики (внешняя торговля, доходы за рубежом и т.д.), поэтому крайне важно, чтобы отрасль была конкурентноспособной как на внутреннем, так и на мировом рынках. Однако, несмотря на важное экономическое и социальное воздействие, чартерные воздушные перевозки остаются недостаточно изученной областью.

Вопрос того, как авиакомпании справляются с внутригосударственной и международной конкуренцией, и как они определяют свои конкурентные стратегии, является малоизученным в научном контексте. В рамках данной статьи рассмотрены конкурентные подходы чартерных авиакомпаний.

Основной целью данной научной статьи является проведение исследования и анализа тенденций развития и проблем, связанных с чартерными воздушными перевозками. Конкретные задачи, которые поставлены к решению, включают:

1. Изучение основных тенденций в развитии чартерных воздушных перевозок, включая увеличение спроса на такие услуги, рост конкуренции и изменения в рыночной среде.

2. Рассмотрение вопросов развития технологических инноваций и их влияние на чартерные перевозки.

3. Анализ проблемных аспектов, связанных с чартерными воздушными перевозками (управления рисками, безопасность, ограничение полетов и др.).

4. Разработка рекомендаций и предложений совершенствования чартерных воздушных перевозок.

Научно-теоретическую базу для изучения тенденций развития и проблем чартерных воздушных перевозок составили труды российских теоретиков и ученых. На основе данных теоретических исследований были установлены особенности проблематики, связанные с чартерными воздушными перевозками.

Основной материал, использованный при подготовке исследования, включал научные труды, статьи, отчеты организаций, правовые положения, определяющие понятие, содержание и основные проблемные вопросы организации и реализации чартерных воздушных перевозок.

В ходе написания данной статьи были проанализированы аспекты развития и проблемы чартерных воздушных перевозок, проанализированы особенности рыночной среды, конкуренции, спроса и предложения в данной сфере.

Воздушный транспорт является одним из важных секторов экономики. Термин «чартер» происходит от латинского слова *Chartule*, обозначающего контракт или наем транспортного средства. Чартерный туризм как концепция стал обозначать пакетные поездки, состоящие из заранее организованных услуг, включая транспорт, проживание, а часто и питание, и варианты сопутствующих мероприятий. Чаще всего чартерные агентства нанимают самолеты разных авиакомпаний на временной основе, но могут также использовать автобусы, поезда или корабли для перевозки. Предлагая пакетные туры по конкурентноспособным ценам, гарантируя безопасность клиентов и снижая потребность отдельных лиц в организации отдыха, чартерные агентства открывают все большее число направлений для среднестатистического туриста.

Между чартерными и регулярными воздушными перевозками существуют принципиальные отличия. Регулярные воздушные перевозки имеют регулярные расписания и рейсы, а чартерные воздушные перевозки – это услуга, которую предоставляет чаще всего компания, реже – группа физических

лиц. Для реализации данной услуги арендуется воздушное судно с целью осуществления полёта по своему расписанию и маршруту. Чартерные рейсы зачастую осуществляются в те страны, которые пользуются высоким спросом среди туристов. Применяются для деловых поездок, в ходе спортивных мероприятий [2].

За последние годы наблюдается активный рост числа туристических поездок, что приводит к повышенному спросу на чартерные авиаперелеты. Чартерные авиакомпании берут на себя операционную ответственность, продавая все места в самолете (полный чартер) или определенное количество мест (сплит-чартер) туристическим компаниям или туристическим агентствам, они не имеют прямого контакта с пассажирами. Чартерные авиакомпании выполняют свои операции на сезонной основе.

Крупные компании также стали чаще прибегать к услугам чартерных авиаперевозок при организации корпоративных мероприятий, деловых встреч.

Рост популярности чартерных авиаперелетов обусловлен снижением арендной стоимости воздушных судов. За последние годы увеличилось число компаний, сдающих в аренду воздушные суда, что в свою очередь привело к росту конкуренции среди них. Такая высокая конкурентная среда привела к снижению арендной стоимости самих судов. Ранее такая услуга являлась крайне дорогостоящей, доступной лишь очень состоятельным компаниям и людям.

Сектор авиаперевозок быстро растет, очень важно понимать динамику этого сектора. Рост популярности чартерных авиаперелетов привел к увеличению конкуренции среди компаний в данном сегменте. Такие условия высокой конкуренции ведут к развитию инновационных технологий в данной области, улучшению качества предлагаемых услуг. Чартерные компании, наилучшим образом удовлетворяющие потребности клиентов, повышающие уровень сервиса, более конкурентоспособны на данном рынке.

С другой стороны, геополитические изменения, происходящие во всем мире, а также события, связанные с пандемией COVID-19, в значительной степени повлияли на логистику в целом, авиаперевозки и чартерные перевозки в частности. Закрытие границ во многих странах в 2020-21 гг. привело к сокращению числа международных перелетов. В 2022 году ситуация стала налаживаться и стабилизироваться, число чартерных воздушных перелетов стало возобновляться.

Происходящие изменения на государственном и международном уровне в данном рыночном сегменте ведут к нормативным изменениям чартерных воздушных перевозок. Такие меры применяются с целью повышения качества безопасности чартерных перевозок. Поэтому чартерным компаниям важно отслеживать нормативные и законодательные изменения с целью выполнения их норм, требований и предписаний.

Итак, рост числа чартерных воздушных перевозок связан с ростом туризма; ростом конкуренции в данном сегменте, который ведет в свою очередь к снижению арендной стоимости; ростом спроса на данный вид услуг. Предполагается, что и в последующем спрос и число чартерных воздушных

перевозок продолжит расти. Высокая конкуренция будет вести к улучшению качества предоставляемых услуг, развитию инновационных технологий в данной области.

Чартерные воздушные перевозки, как и любая другая отрасль авиации, имеют некоторые свои сложности и проблемы.

Одной из наиболее значимых проблем является пропускная способность аэропортов. Такая особенность затрудняет деятельность чартерных компаний. Кроме того, некоторые аэропорты могут устанавливать завышенные тарифы и сборы для чартерных перевозок.

Другой не менее важной проблемой является регулятивная составляющая. На государственном уровне принимаются ограничения с целью обеспечения безопасности. Так, например, требования к сертификации воздушных судов, обеспечению страхования, требования к персоналу, обеспечению санитарных и иных норм создают дополнительную нагрузку для чартерных компаний.

Чартерные компании также должны обеспечивать безопасность воздушных перевозок. Для этого важно:

- проводить проверку как пассажиров, так и багажа;
- обеспечивать безопасность на борту воздушного судна;
- соблюдать все рекомендации и требования безопасности, установленные на нормативном и законодательном уровне [3].

Обеспечение безопасности является важным аспектом, поскольку специфика деятельности воздушных перевозок сопровождается рядом рисков (погодные условия, технические сбои, геополитические события и многое др.).

С целью решения данных проблем чартерные компании прибегают к некоторым подходам. Одним из таких подходов является установление и развитие партнерских отношений с аэропортами. Такие отношения могут обеспечить доступ к самим аэропортам и установлению более выгодных тарифов.

Рост конкуренции среди чартерных авиакомпаний ведет к улучшению качества предоставляемых услуг и развитию технологических инноваций. Одним из таких инновационных новшеств являются беспилотные воздушные суда (БПВС). БПВС – это воздушные суда, способные выполнять полеты без присутствия пилота на борту. Они оснащены автоматизированными системами управления, датчиками и программным обеспечением, которые позволяют им выполнять различные задачи. Такие суда могут в значительной степени повлиять на обеспечение безопасности. Поскольку воздушные суда оснащены передовыми системами автоматического пилотирования, возможно более точное и предсказуемое выполнение полетов.

### **Заключение**

В данной статье рассмотрены основные тенденции развития чартерных перевозок, обозначены проблемы, с которыми сталкиваются чартерные компании, проведен анализ влияния технологических новшеств на данную отрасль и предложены рекомендации по улучшению и развитию чартерных услуг.

Исследование показывает, что спрос на чартерные перевозки продолжает расти. Однако с увеличением спроса возникают проблемы, такие как усиление конкуренции. Чартерные компании сталкиваются с ограничениями доступа в аэропорт, нормативными ограничениями, проблемами безопасности.

Технологические инновации, в том числе использование беспилотных летательных аппаратов, представляют значительный потенциал для рынка чартерных услуг. Они смогут повысить эффективность, безопасность и качество транспортных перевозок. Однако внедрение этих новшеств требует тщательного анализа.

Для оптимизации чартерных воздушных перевозок рекомендуется развивать партнерские отношения, инвестировать в технологии, обучать персонал, развивать системы управления рисками, выполнять нормативные требования, повышать качество обслуживания клиентов, а также сотрудничать с другими операторами. Это является серьезной задачей для всей отрасли. Решение этих задач позволит обеспечить эффективное, безопасное и качественное обслуживание пассажиров и будет способствовать развитию рынка чартерных услуг.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Visnyakova Alena Aleksandrovna*. Development trends and challenges of air charter services. International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration», Part 1. [Электронный ресурс] – URL: [http://naukarus.ru/public\\_html](http://naukarus.ru/public_html) (дата обращения: 27.11.2023)
2. *Карпачева Т. А.* Актуальность чартерных перевозок / Т. А. Карпачева, А. А. Вишнякова // *Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык*. – 2016. – № 3. – С. 288-297. – EDN WHCFIP.
3. Динамика устойчивого развития или факторы, определяющие перспективы авиатранспортной отрасли России. [Электронный ресурс] – URL: <http://www.aex.ru/fdocs/2/2015/2/20/25630> (дата обращения: 10.07.2023)
4. *Костюченко Ю.* Развитие лоукостеров в России. Финальный отчет / Ю. Костюченко. [Электронный ресурс] – URL: <http://avia.pro/blog/razvitie-loukosterov-v-rossii-finalnyu-otschyot> (дата обращения: 12.07.2023)
5. О направлениях развития системы перевозок на воздушном транспорте. [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-napravleniyah-razvitiya-sistemy-perevozok-na-vozdushnom-transporte> (дата обращения 10.07.2023).
6. Обзор рынка пассажирских авиаперевозок. [Электронный ресурс] – URL: [http://www.qbfin.ru/markets\\_review\\_3.html](http://www.qbfin.ru/markets_review_3.html) (дата обращения: 11.07.2023)
7. *Панина В. С.* Тенденции развития и проблемы рынка чартерных перевозок / В. С. Панина // *Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации*. – 2005. – № 88. – С. 187-190. – EDN KUAKYZ.
8. Развивающийся рынок авиаперевозок и его зависимость от роста городов [Электронный ресурс] – URL: <http://avia.pro/blog/prognoz-razvitiya-rynka-aviaperevozok-2014-2033-gg> (дата обращения: 10.07.2023)

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ И ПРОБЛЕМЫ ЛОУКОСТЕРОВ (НА ПРИМЕРЕ АВИАКОМПАНИИ «ПОБЕДА»)

Юнчик Д. А.

Вишнякова А. А., канд. социол. наук  
(научный руководитель)

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
(г. Иркутск)*

**Аннотация.** Статья исследует основные возможности развития лоукостеров, а также показывает проблемы, с которыми сталкиваются перевозчики в данном сегменте авиаперевозок. Авторские результаты включают описание роста спроса на низкобюджетные перевозки, а также предложения и рекомендации для оптимизации и улучшения услуг, предоставляемых авиакомпанией «Победа».

**Ключевые слова:** авиационная отрасль, лоукостер, авиаперевозки, бюджетные авиаперевозки, авиакомпания «Победа», низкая стоимость, пассажиропоток, конкурентоспособность, улучшение.

### **Введение**

Выбор данной темы обусловлен актуальностью и значимостью большого спроса лоукостеров в современном мире. Возникновение лоукостеров в сфере авиации давно стало популярным почти во всем мире. С ростом туристической и бизнес-активности, а также с расширением мирового рынка грузоперевозок, бюджетные перевозки становятся неотъемлемой частью авиационной отрасли. Также существует растущий интерес исследователей и профессионалов в изучении тенденций и проблем, связанных с лоукостерами, с целью оптимизации и улучшения данной формы авиационных услуг.

Основной целью данной научной статьи является проведение исследования и анализа возможностей развития и проблем лоукостеров, на примере авиакомпании «Победа». Конкретные задачи, которые решались в статье:

1. Изучение основных возможностей развития авиакомпании «Победа», включая увеличение спроса в рыночной среде.
2. Рассмотрение проблем, с которыми сталкивается лоукостер, таких как недовольство потребителей сервисом авиакомпании, некоторое отсутствие и ограничение услуг на борту во время перевозки.
3. Анализ влияния технологических инноваций на авиакомпанию «Победа», таких как новейший центр операционного контроля и современный собственный тренажер для подготовки экипажей, которые обеспечивают безопасность пассажиров во время авиаперевозки и регулярность рейсов.



4. Разработка рекомендаций и предложений для оптимизации и улучшения лоукостеров, включая усовершенствование сервиса, повышение безопасности и эффективности услуг.

Для проведения исследования и достижения поставленных задач был проведен анализ различных литературных источников, включающих научные статьи, журналы, книги и отчеты организаций.

Изучение возможностей развития лоукостеров охватывает многие аспекты авиаперевозок, включая потребительский спрос и конкурентоспособность на рынке авиаперевозок. Данные факторы позволяют определять рейтинг и эффективность авиакомпании.

Бизнес-модель лоукостера предполагает, что воздушные суда летают на небольшие расстояния, и продолжительность полета не превышает двух с половиной часов. Низкобюджетной авиакомпании нужно перевезти максимальное число пассажиров за минимальное количество времени. В России расстояние между конечными пунктами на большинстве маршрутов слишком большое, и перелет занимает более чем два с половиной часа [2].

Использование второстепенных аэропортов – один из главных факторов сокращения затрат лоукостеров в современной мировой практике, который позволяет экономить на наземном обслуживании благодаря более дешевым аэропортовым сборам и сокращать время разворота воздушного судна за счет существенно меньшего трафика и загруженности некоторых авиаузлов.

В последние годы лоукостеры стали все более популярными, связано это с тем, что потребителей привлекает относительно низкая цена на авиабилет. Именно этот фактор способствует росту спроса на авиаперевозки. Одним из ключевых моментов является рост числа туристических поездок. Все больше людей стремятся путешествовать, открывая для себя новые места. Лоукостеры предлагают невысокую стоимость авиабилета для путешествий, позволяя населению сэкономить свои денежные средства.

Также стоит отметить рост делового туризма. Для предпринимателей, которые часто перемещаются в разные города для деловых встреч, цена также будет являться одним из главных факторов для выбора авиакомпании. Так как, если перевозка будет занимать небольшое количество времени и некоторое отсутствие услуг на борту, например, питание, не будет являться основным критерием выбора при авиаперевозке. Лоукостеры предлагают удобное и эффективное решение для перемещения делового туризма.

Рост популярности лоукостеров также объясняется прямыми и частыми перелетами. Данный фактор является одним из важных, как для самой авиакомпании, так и для потребителей, заинтересованных в данных услугах.

Рост спроса на низкобюджетные перевозки также привел к увеличению конкуренции на рынке. Лоукостеры занимают одно из самых высоких мест в рейтинге выбора авиакомпаний. Конкуренция между авиакомпаниями стимулирует инновации и улучшение качества предлагаемых услуг. Инновации в технологиях и комфорте воздушных судов, такие как улучшенные системы развлечения на борту, Wi-Fi и повышенный уровень комфорта, также могут стать ключевыми факторами для привлечения клиентов [3].

Относительно недавно в России была организована авиакомпания «Победа», которая уже вошла в рейтинг 10 лучших крупнейших авиакомпаний Российской Федерации. Лоукостер является дочерней авиакомпанией группы «Аэрофлот» и с 2014 года успешно осуществляет проект классического низкобюджетного авиаперевозчика как внутри нашей страны, так и за пределы Российских границ. 5 лет назад бюджетная авиакомпания стала мировым рекордсменом по росту пассажиропотока (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Пассажиропоток авиакомпании «Победа» [1]

Показатель	год				
	2018	2019	2020г	2021г	2022
Пассажиропоток, миллионов человек	7,195	10,288	9,087	14,344	15,104

Несмотря на то, что подобного рода авиакомпании существуют уже давно в нашей стране, попытки организовать такую авиакомпанию появились относительно недавно.

Российская авиакомпания «Победа» стала рекордсменом мира по показателю среднесуточного налета на самолетах Boeing 737-800 (чем больше налет, тем меньше себестоимость летного часа и, соответственно, больше билетов по сниженной стоимости).

Основной целью лоукостеров является минимизация расходов на авиауслуги за счет отказа от комфорта и необязательных услуг. Как правило, такие низкобюджетные перевозчики выбирают аэропорты, которые находятся вдалеке от города, так как те берут минимальные аэропортовые сборы. Для того чтобы снизить затраты на ремонт и содержание большого штата авиационных техников авиакомпании стараются летать только на новых воздушных судах и только одной модели. В доказательство этому авиакомпания «Победа» выполняет все рейсы на самолетах Boeing 737-800, которые были выпущены не более 9 лет назад.

Электронный заказ билетов также позволяет сократить затраты, так как обычно это происходит на их собственных сайтах, в то время как классические авиакомпании часто продают билеты через агентскую сеть, и каждый агент, конечно, делает свою наценку.

Несмотря на то, что выручка авиакомпании в 2021 году составила 67 миллиардов рублей – что на 28% больше, чем в 2019 году, количество недовольных пассажиров авиакомпанией «Победа» также существенно выросло. Стратегической целью лоукостера является достижение 56-66 миллионов пассажиров к 2027 году.

Тем не менее, существуют определенные условия, нормы и правила, которых придерживается авиакомпания, которая позиционирует себя лоукостером. Их, как правило, размещают на собственном сайте для того, чтобы в дальнейшем избежать конфликтов при посадке.

На сегодняшний день существуют определенные проблемы, с которыми столкнулся лоукостер, а именно, увеличились случаи недовольства и жалоб в Федеральное агентство воздушного транспорта. В основном отрицательные отзывы связаны с некомпетентностью обслуживающего персонала, а наиболее частые по поводу дополнительной платы за провоз личных вещей и багажа в салоне самолёта.

Не менее важными являются и другие проблемы авиакомпании «Победа»: отсутствие бонусных программ, минимальный шаг кресел, отсутствие бесплатного питания, высокая стоимость за дополнительные услуги при авиаперевозке. В совокупности данные проблемы в будущем могут привести к снижению конкурентоспособности авиакомпании на рынке авиаперевозок и уменьшению спроса потребителей [6].

Таким образом, лоукостер сталкивается с рядом проблем, решение которых необходимо для дальнейшего существования авиакомпании, а также ее плодотворной деятельности и рентабельности. Только путем тщательного рассмотрения и постоянного внимания к этим проблемам можно обеспечить эффективное и безопасное функционирование лоукостера.

Технологические инновации и современные системы управления имеют значительное влияние на безопасность полетов и конкурентоспособность авиакомпании «Победа».

Сравнительно недавно лоукостер открыл новейший центр операционного контроля. Он расположен в головном офисе авиакомпании в Москве. Новый центр не имеет аналогов в Российской Федерации и построен с учетом лучшего мирового опыта.

Центр сосредоточен на планировании и управлении всем производственным процессом авиакомпании и помогает моментально корректировать расписание полетов для достижения максимальной пунктуальности рейсов и безопасности авиаперевозки [7].

В центре существует проект «защита», где используется уникальная программа с эксплуатацией технологий искусственного интеллекта, которая позволяет незамедлительно реагировать на любые внешние факторы, способные повлиять на авиаперевозки. Авиакомпания «Победа» стабильно находится в числе лидеров по четкому соблюдению графиков полетов.

Также стоит отметить, что лоукостер приступил к эксплуатации собственного новейшего тренажера. Тренажер оснащен высочайшим уровнем детализации и уникальной электромеханической системой подвижности, которая позволяет имитировать перегрузки при взлете и посадке, а также турбулентность. В данный момент тренажер обеспечивает 100% потребностей авиакомпании «Победа» по периодической подготовке летных экипажей [1].

Можно сделать вывод, о том, что лоукостер в полной мере обеспечивает безопасность полетов и соблюдение четкого графика выполнения авиарейсов, тем самым удерживает свою позицию конкурентоспособности на рынке за счет низкой статистики авиакатастроф и отсутствия частых перебоев в расписании полетов. Данные критерии являются для пассажиров одними из самых главных при выборе авиакомпании.

Российский авиаперевозчик, который появился на рынке авиационных услуг сравнительно недавно, должен проявлять наибольшую гибкость и маневренность по отношению к своим пассажирам.

Необходимо обеспечить высокое качество обслуживания, даже со сравнительно небольшими тарифами на перевозку. Так как, авиакомпания «Победа» часто обсуждается в интернете, новостных каналах и попадает в конфликтные ситуации. Судебные разбирательства и слишком высокая стоимость за дополнительные услуги могут отрицательно сказаться на работе авиакомпании, поэтому можно сделать вывод о том, что для благоприятного развития авиакомпании необходимо внести ряд изменений, направленных на усовершенствование в данных областях [3].

Для оптимизации и улучшения низкобюджетных перевозок, включая управление рисками, повышение безопасности и эффективности услуг, можно рассмотреть следующие рекомендации и предложения:

1. Более прозрачная и очевидная система начислений дополнительной стоимости к основному авиабилету на воздушную перевозку, например, страховка.

2. Бесплатная горячая линия, так как очень часто потребители обращаются и решают возникшие вопросы именно этим путём, но на данный момент услуга платная, не каждый человек захочет ею воспользоваться, вследствие чего подаются жалобы в вышестоящие инстанции.

3. Снижение стоимости на дополнительные услуги, так как иногда стоимость конечного билета получается намного выше, чем, если воспользоваться услугами обычной авиакомпании.

В целом, оптимизация и улучшение низкобюджетных перевозок требуют комплексного подхода, включающего тщательного рассмотрения и постоянного внимания к проблемам. Только путем улучшения качества сервиса и налаживания отношения с пассажирами можно обеспечить эффективное функционирование лоукостера. Эти меры помогут сделать авиаперевозки более рентабельными и привлекательными для клиентов.

### **Заключение**

В данной статье был рассмотрен отечественный опыт развития лоукостеров на примере авиакомпании «Победа», а также идентифицированы проблемы, с которыми сталкиваются операторы низкобюджетных перевозок, проанализировано влияние технологических инноваций на данную авиакомпанию и предложены рекомендации для оптимизации и улучшения сервиса и услуг.

Исследование показало, что спрос на бюджетные перевозки продолжает расти, особенно в сфере деловых и туристических перевозок. Однако, с этим ростом спроса были выявлены проблемы, такие как отрицательные отзывы клиентов, которые появляются в связи с отсутствием сервиса на борту и некоторых других услуг. В совокупности данные проблемы могут привести к снижению конкурентоспособности авиакомпании на рынке авиаперевозок и уменьшению спроса потребителей.

В статье рассмотрено влияние технологических инноваций на авиакомпанию «Победа», тем самым доказано, что лоукостер в полной мере обеспечивает безопасность полетов воздушных судов и четко соблюдает расписание авиарейсов. Новейшие технологии авиакомпании повышают эффективность, безопасность и надежность авиаперевозок.

Для оптимизации и улучшения бюджетных перевозок рекомендуется более прозрачная и очевидная система начислений дополнительной стоимости к основному авиабилету на воздушную перевозку, бесплатная горячая линия, а также снижение стоимости за дополнительные услуги.

В целом, оптимизация и улучшение бюджетных перевозок являются важными задачами для авиакомпании «Победа» и всей авиаотрасли. Это позволит обеспечить более эффективные, улучшенные и удовлетворительные услуги для пассажиров, а также повысить рентабельность и конкурентоспособность для лоукостера.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авиакомпания «Победа»: официальный сайт. – [Электронный ресурс] – URL: <https://pobeda.aero> (дата обращения: 11.07.2023)
2. Динамика устойчивого развития или факторы, определяющие перспективы авиатранспортной отрасли России. – [Электронный ресурс] – URL: <http://www.aex.ru/fdocs> (дата обращения: 15.07.2023)
3. *Костюченко Ю.* Развитие лоукостеров в России. Финальный отчёт / Ю. Костюченко. – [Электронный ресурс] – URL: <http://avia.pro/blog/razvitie-loukosterov-v-rossii-finalnyu-otschyot> (дата обращения: 15.07.2023)
4. *Майборода Н. У* «Победы» появилось лицо. – [Электронный ресурс] – URL: <http://www.forbes.ru/brandvoice/aeroflot/351209-u-pobedy-poyavilos-lico> (дата обращения: 10.07.2023)
5. *Мальцев А. А.* Лоукост-компании как драйвер роста мирового авиапассажиропотока / А. А. Мальцев, А. В. Матвеева, А. Г. Тарасов // Проблемы современной экономики. – 2016. – № 1 (57). – С. 63-67.
6. *Пантелеев О.* Полет в будущее. Как классические авиакомпании копируют лоукостеров. – [Электронный ресурс] – URL: <http://www.forbes.ru/biznes/348183-polet-v-budushchee-kak-klassicheskie-aviakompanii-kopiruyut-loukosterov> (дата обращения: 14.07.2023)
7. Статистика авиакомпании «Победа». – [Электронный ресурс] URL: <https://www.flightera.net/ru/airline/Pobeda#statistics/> (дата обращения: 11.07.2023)

## Именной указатель

- А**  
Аглиуллина Э. А. .... 9  
Акулов О. Ю. .... 201  
Андрютин Н. Н. .... 13  
Антошина В. В. .... 249  
Арефьев. Р. О. .... 242
- Б**  
Баракин В. Д. .... 206  
Баращенко Н. А. .... 302  
Белков А. Д. .... 178  
Белоусова Е. В. .... 17  
Беспярых Д. А. .... 181  
Бец В. А. .... 178  
Биликтуев В. Р. .... 23  
Болонкин С. А. .... 30  
Борисенко Р. Е. .... 37  
Бредун Ю. И. .... 43  
Бурлаченко М. В. .... 48
- В**  
Вайцель К. В. .... 53  
Веремчук Е. А. .... 85, 269  
Вишнякова А. А. .... 302, 327, 332  
Власова О. В. .... 184  
Вовк М. Р. .... 57  
Вознюк И. В. .... 48, 136  
Воробьева В. М. .... 194  
Воронцев В. А. .... 57, 91
- Г**  
Галков А. В. .... 53  
Ган В. А. .... 61  
Ганеев Е. С. .... 67  
Герклец Н. С. .... 73  
Гладкова И. Ю. .... 213, 254  
Гольдварг Е. С. .... 163  
Горбунов А. Л. .... 223
- Д**  
Даниленко Н. В. .... 37, 129  
Данчинова М. В. .... 194  
Дерганова Д. О. .... 96  
Диль В. Ф. .... 181  
Дорофеева М. А. .... 61  
Дудкина Д. А. .... 80
- Е**  
Есенова А. В. .... 213
- З**  
Загриева А. Р. .... 308  
Захаров Р. Н. .... 96  
Знаменская К. С. .... 254
- К**  
Кададова А. В. .... 217  
Кадочников Д. М. .... 217  
Капранов О. Д. .... 85  
Каргин А. В. .... 201  
Каримов А. А. .... 291, 295  
Клебан Г. А. .... 217  
Клюева А. А. .... 257  
Колычев С. А. .... 178, 184, 249, 265  
Коновалов Н. Н. .... 115  
Королев М. Д. .... 91  
Красноштанова В. С. .... 96  
Куприков М. Ю. .... 323  
Курочкин С. О. .... 105, 110, 170, 282
- Л**  
Лашманов С. В. .... 213, 233  
Левшонков Н. В. .... 9, 105, 110, 170, 282  
Ли Юньхань .... 223  
Лобкова Д. А. .... 85  
Лопатин Н. А. .... 115
- М**  
Малинин Д. А. .... 265  
Манев Е. В. .... 269  
Межетов М. А. .... 238  
Мельников С. Н. .... 73  
Морозов О. Г. .... 225  
Мудриченко Р. Е. .... 129  
Муравьев И. Ю. .... 225  
Мухин В. А. .... 317

<b>Н</b>		<b>Х</b>	
Напольский В. П. ....	206	Хазюра Д. Р. ....	291
Нацубидзе С. А. ....	23, 43	Ханларов А. М. ....	295
Николаев А. А. ....	269	Хороших А. С.	
<b>О</b>		<b>Ч</b>	
Опперман П. А. ....	206	Черных К. А. ....	67
<b>П</b>		Чудинова Е. Д. ....	233
Павловец А. Л. ....	17	<b>Ш</b>	
Пашенцева Д. О. ....	276	Шевцов С. А. ....	157
Пелих Е. А. ....	323	Шевченко В. С. ....	157
Пелих Е. Г. ....	67	Шерстеникина А. А. ....	317
Перепелица М. А. ....	67	Шипулин А. Е. ....	110, 170
Першин Е. А. ....	174	Шустиков С. А. ....	174
Пономарёв Д. О. ....	136	Шушарин В. А. ....	61, 115, 141, 148
Портнов М. А. ....	276	<b>Э</b>	
Потапова С. Д. ....	141	Эммерих К. Р. ....	238
<b>Р</b>		Эпов Н. В.	
Ратников А. В. ....	148	<b>Ю</b>	
Рябчинская П. Д. ....	105, 282	Юнчик Д. А. ....	332
<b>С</b>		<b>А</b>	
Сапунов Д. М. ....	157	Aristova N. S. ....	287
Сапунова С. С. ....	265	<b>G</b>	
Словинская Е. И. ....	13	Galyautdinova R. M. ....	123
Солуянова К. А. ....	141	<b>М</b>	
Ступина А. А. ....	163	Malaeva P. V. ....	123
Субботина Д. А. ....	249	Morozova A. D. ....	313
Сушко М. Ю. ....	80	Morozova M. A. ....	313
<b>Т</b>		<b>N</b>	
Трунилина К. И. ....	184	Naplekova M. S. ....	313
<b>У</b>		<b>T</b>	
Уколов С. Д. ....	53	Tikhomirova R. L. ....	287
Ульянова Н. В. ....	30		
Усачева И. В. ....	327		
Устинов В. В. ....	194		
<b>Ф</b>			
Фофанов Н. А. ....	57		

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ  
И МЕТОДОВ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ – 2023**

**СБОРНИК ТРУДОВ**

XVI Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов, посвященной празднованию 100-летия отечественной гражданской авиации

7-8 декабря 2023 г.

Том 2

Техническая верстка: Михалев А. Г.

---

	Подписано в печать 15.02.24 г.	
Печать трафаретная	Формат 60x84/16	21,9 уч.-изд. л.
21,4 печ. л.	Заказ № 986	Тираж 50 экз.

---

*Иркутский филиал МГТУ ГА  
664047, г. Иркутск ул. Коммунаров, д. 3  
Отдел редакционно-издательской и научной работы  
664009, г. Иркутск, ул. Советская, д. 139*

© Иркутский филиал МГТУ ГА, 2024